



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES
MAESTRÍA EN SALUD Y PRODUCCIÓN ANIMAL SUSTENTABLE

Medición de gases en medio ambiente; amoníaco, sulfuro de hidrógeno y monóxido de carbono, en casetas de cerdos las primeras cuatro semanas postdestete

TESIS

Que como parte de los requisitos para obtener el grado de
Maestro en Salud y Producción Animal Sustentable

PRESENTA

M.V.Z. Erick Castañón Mendoza

Dirigido por

Dra. María Concepción Méndez Gómez-Humarán

Asesores

Dra. Tércia Cesária Reis de Souza

Dra. Araceli Aguilera Barreyro

Dr. Konisgmar Escobar García

M. P.A. Gonzalo Villar Patiño

Santiago de Querétaro, Qro, 23 octubre de 2018



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES
MAESTRÍA EN SALUD Y PRODUCCIÓN ANIMAL
SUSTENTABLE

Medición de gases en medio ambiente; amoníaco, sulfuro de hidrógeno y monóxido de carbono, en casetas de cerdos cerradas las primeras cuatro semanas postdestete

TESIS

Que como parte de los requisitos para obtener el grado de
Maestro en Salud y Producción Animal Sustentable

PRESENTA

M.V.Z. Erick Castañón Mendoza

Dirigido por

Dra. María Concepción Méndez Gómez-Humarán

Asesores

Dra. Tércia Cesária Reis de Souza

Dra. Araceli Aguilera Barreyro

Dr. Konisgmar Escobar García

M. P.A. Gonzalo Villar Patiño

Campus Juriquilla
Santiago de Querétaro, Qro. México
Octubre 2018



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES
MAESTRÍA EN SALUD Y PRODUCCIÓN ANIMAL SUSTENTABLE

Medición de gases en medio ambiente; amoníaco, sulfuro de hidrógeno y monóxido de carbono, en casetas de cerdos cerradas las primeras cuatro semanas postdestete

TESIS

Que como parte de los requisitos para obtener el grado de
Maestro en Salud y Producción Animal Sustentable

PRESENTA

M.V.Z. Erick Castañón Mendoza

Dirigido por

Dra. María Concepción Méndez Gómez-Humarán

SINODALES

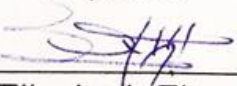
Dra. Ma. Concepción Méndez Gómez-Humarán
Presidente

Dra. Tércia Cesária Reis de Souza
Secretario

Dra. Araceli Aguilera Barreyro
Suplente

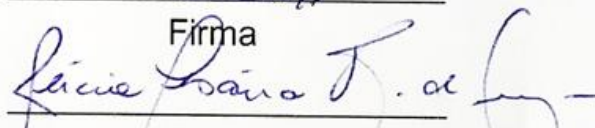
Dr. Konisgmar Escobar García
Suplente

M. P.A. Gonzalo Villar Patiño
Suplente



Dra. Juana Elizabeth Elton Puente
Directora de la Facultad de Ciencias Naturales



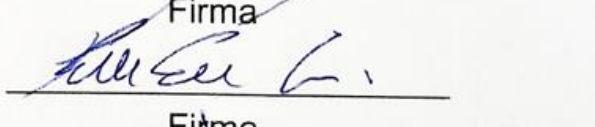
Firma



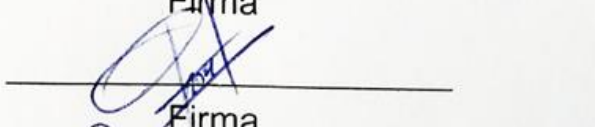
Firma



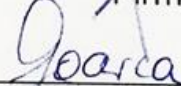
Firma



Firma



Firma


Dra. Ma. Guadalupe Flavia Loarca Piña
Directora de Investigación y Posgrado UAQ

Resumen

El objetivo del presente trabajo fue determinar la presencia y concentración de gases producidos por cerdos en un sistema de producción comercial durante las primeras cuatro semanas postdestete en casetas de ambiente controlado, así como observar la relación que guardan con la temperatura y humedad del medio ambiente. El estudio se realizó en una unidad de producción porcina el estado de Querétaro, en el periodo comprendido entre el 26 de enero y el 22 de febrero del 2016, a través de la instalación de un medidor de gases; X-AM 5000 marca Dräger con una capacidad de medición de 3 gases simultáneos con resolución de 1 ppm para cada gas con un periodo de tiempo de 10 minutos para cada medición, el equipo se instaló a una altura de 0.8 metros sobre el nivel del piso en una línea paralela a la línea media de la sala por encima de los corrales, donde también se colocó un medidor de temperatura y humedad RTH10 marca Extech con una medición cada 30 minutos, se descargó la información mediante el uso de un software del equipo cada 4 días. Se obtuvieron mediciones de los tres gases 0.82, 0.024 y 82.5 ppm para el amoníaco, sulfuro de hidrógeno y monóxido de carbono respectivamente. La mayor concentración de amoníaco se observó a las 15 horas alcanzando un promedio de 14 ppm, presentando una diferencia significativa con respecto a los demás horarios ($P < 0.05$). Se observó un incremento de la concentración del gas a través del tiempo, sin embargo, no se observaron diferencias significativas ($P > 0.05$). El sulfuro de hidrógeno fue el gas que se encontró en menor concentración y presencia, sin embargo, al igual que el amoníaco el horario de mayor concentración fue el de las 15 horas ($P < 0.05$). El monóxido de carbono fue el gas con mayor concentración, encontrando una diferencia significativa entre día y noche ($P < 0.05$), se encontró un incremento semanal del gas con diferencia significativa ($P < 0.05$). Bajo las condiciones de este estudio se encontraron correlación entre el amoníaco y el sulfuro de hidrógeno con un 89.9 % sin embargo, puede ser atribuible a las mediciones repetidas en cero para ambos gases, además se encontró una correlación de 80% entre monóxido de carbono y humedad, a mayor humedad relativa mayor concentración del gas sin embargo es necesario evaluar si esta relación es repetible bajo diferentes escenarios.

Existe un riesgo potencial para los colaboradores de granja que utilizan el gas metano en el sistema de calefacción para alcanzar las temperaturas recomendadas, sobre todo en producciones con un mal programa de mantenimiento del sistema de calefacción, existe una falta de seguimiento al manejo de temperatura en la sala lo que aumenta la concentración del gas, el promedio del gas en estas cuatro semanas esta 7 veces por encima del especificado en la norma NOM-021-SSA1-1993.

Palabras Clave: amoníaco, sulfuro de hidrógeno, monóxido de carbono

Summary

The aim of this study was to determine the presence and concentration of gases produced by pigs in a commercial production system during the first four weeks post-weaning with controlled environment houses, as well as to observe the relationship they maintain with the temperature and humidity of the environment. The study was conducted in a pig production unit in the state of Querétaro, in the period between January 26 and February 22, 2016, through the installation of a gas meter; X-AM 5000 brand Dräger with a measuring capacity of 3 simultaneous gases with resolution of 1 ppm for each gas with a period of 10 minutes for each measurement, the equipment was installed at a height of 0.8 meters above floor level in a line parallel to the middle line of the room above the corrals, where an Extech brand RTH10 temperature and humidity meter was also placed with a measurement every 30 minutes, the information was downloaded through the use of an equipment software every 4 days. Measurements of the three gases 0.82, 0.024 and 82.5 ppm were obtained for ammonia, hydrogen sulfide and carbon monoxide respectively. The highest concentration of ammonia was observed at 15 hours, reaching an average of 14 ppm, showing a significant difference with respect to the other measurements ($P < 0.05$). An increase of gas concentration was observed over time, however, no significant differences were observed ($P > 0.05$). Hydrogen sulfide was the gas that was found in lower concentration and presence, however, like ammonia, the time of highest concentration was at 15 hours ($P < 0.05$). Carbon monoxide was the gas with the highest concentration, finding a significant difference ($P < 0.05$) between day and night, a weekly gas increase was found with significant difference ($P < 0.05$). Under the conditions of this study, a correlation between ammonia and hydrogen sulphide was found with 89.9%, however, it can be attributed to repeated measurements at zero for both gases, and an 80% correlation between carbon monoxide and humidity was found, the higher the relative humidity, the higher the concentration of the gas. However, it is necessary to evaluate if this interaction is repeatable under different scenarios.

There is a potential risk for workers in farm facilities that use methane gas in the heating system to reach the recommended temperatures, especially in productions with a bad maintenance program of the heating system, there is a lack of follow-up on temperature management in the room which increases the concentration of gas, the average gas in these four weeks is 7 times higher than that specified in the standard NOM-021-SSA1-1993.

Keywords: ammonia, hydrogen sulfide, carbon monoxide

Dedicatorias

A Yaretzi mi hija que fue la mayor motivación para ingresar a la maestría, a mi esposa Elsa sin su apoyo no hubiera sido posible y a mi mamá por sus consejos.

Agradecimientos

A Dios por darme la vida y permitirme llegar hasta esta etapa.

A mi familia que me apoyaron en todos los sentidos, sobre todo a mi esposa que sin importar el tiempo que me ausente por el trabajo que implica realizar la maestría me ayudo en todo momento haciendo que esto fuera posible.

Agradezco enormemente a mi comité, en especial a la Dra. Ma. Concepción Méndez Gómez-Humarán, a los profesores que siempre me guiaron para hacer posible el trabajo.

Agradezco a Nutec, la empresa donde colaboro por el apoyo que recibí para realizar la maestría, a Toñito Ruiz que fue parte fundamental para poder realizar esta etapa.

Sin la suma de la ayuda de cada una de las personas no hubiera sido posible lograr este sueño.

El presente estudio fue apoyado por la empresa Nueva Tecnología en Alimentación S.A. de C.V.

Índice

Resumen	i
Summary	ii
Dedicatorias	iii
Agradecimientos.....	iv
Índice.....	vi
Índice de Cuadros	ix
Índice de Figuras.....	x
I. Introducción	1
II. Revisión de literatura	2
5.2.2 Generalidades del cerdo	2
2.1.2 Situación de la Porcicultura en el mundo	3
2.1.3 Situación de la Porcicultura en México	3
2.1.4 Sistemas de producción	4
2.1.5 Sistema tecnificado	4
2.1.6 Sistema “todo dentro – todo fuera”	5
2.1.7 Sistema monositio, ciclo completo o flujo continuo	5
2.1.8 Sistema Multisitios	5
2.1.9 Sistema semitecnificado	5
2.1.10 Sistema de traspatio o rural	6
2.2 Producción de gases en el cerdo	6
2.2.1 Fisiología gastrointestinal.....	6
2.2.2 Función y motilidad gastrointestinal	7
2.2.3 Secreciones del aparato digestivo	11
2.2.4 Digestión y absorción en procesos no fermentativos	13

2.2.5 Utilización de los aminoácidos	16
2.2.6 Ciclo de la urea	17
2.2.7 Desarrollo microbiano en tracto digestivo	19
2.2.8 Procesos fermentativos mediante degradación microbiana.....	20
2.2.9 Formación de sulfuro de hidrógeno.....	24
2.3.1 Producción de gases en el medio ambiente	25
2.4.1 Calidad del medio ambiente.....	26
2.4.2 Características de los gases	27
2.4.2.1 Amoníaco, NH ₃	27
2.4.2.2 Sulfuro de hidrógeno, H ₂ S.....	28
2.4.2.3 Monóxido de carbono, CO	28
III. Objetivos	30
5.2 Objetivo General.....	30
3.2 Objetivos Específicos.....	30
IV. Material y Métodos.....	31
5.2 Lugar de estudio	31
4.2 Animales y alojamiento	31
4.3 Diseño de estudio	33
4.4 Recopilación de la información	33
4.5 Análisis de información	33
V. Resultados y discusión	35
5.2 Resultados temperatura y humedad relativa.....	35
5.2 Resultados medición de gases	39
5.2.1 Amoníaco.....	39
5.2.2 Sulfuro de hidrógeno.....	44

5.2.3	Monóxido de carbono	48
5.2.3	Correlaciones entre gases	54
5.2.4	Correlaciones gases, temperatura y humedad relativa	55
VI.	Conclusión	56
VII.	Literatura citada	58

Índice de Cuadros

CUADRO		Página
1	Composición química del metano.	25
2	Resultados temperatura y humedad relativa	36
3	Efectos de temperatura en rendimiento de lechones	37
4	Estadísticos descriptivos de amoníaco	39
5	Análisis de concentración de amoníaco por hora	40
6	Concentraciones semanales de NH ₃	43
7	Concentración de amoníaco día y noche	44
8	Estadísticos descriptivos sulfuro de hidrógeno	45
9	Análisis concentración de H ₂ S por hora	46
10	Concentración de H ₂ S semanal	47
11	Estadísticos descriptivos monóxido de carbono	48
12	Concentración monóxido de carbono día y noche	49
13	Concentración semanal de monóxido de carbono	49
14	Análisis de concentración de CO por hora	51
15	Correlaciones entre gases, NH ₃ , H ₂ S y CO	53
16	Correlación temperatura, humedad relativa, NH ₃ , H ₂ S y CO	54

Índice de Figuras

Figura		Pagina
1	Metabolismo de las proteínas	17
2	Ciclo de la urea	18
3	Principales reacciones de degradación de aminoácidos	22
4	Origen y destino del amoníaco intestinal	23
5	Destino de la proteína en intestino grueso	23
6	Metabolismo de aminoácidos azufrados y producción de H ₂ S	24
7	Proceso de volatización del amoníaco de heces	26
8	Comportamiento diario de temperatura	36
9	Comportamiento diario de la humedad relativa.	38
10	Ecuación de predicción y concentración de % CO Hb en sangre	52

I. Introducción

La inquietud por investigar la producción de gases nace de la necesidad de los productores de conocer la presencia y concentración de estos dentro de sus instalaciones, debido a los riesgos potenciales que la presencia de estos implica tanto para los animales como para los colaboradores de granja. Los gases más comunes presentes en unidades de producción porcina son: 1) amoníaco anhidro (NH_3), gas incoloro, irritante en mucosas, higroscópico, más ligero que el aire y sofocante presente en las heces en forma ionizada NH_4^+ (amonio) soluble en agua y en forma gaseosa como NH_3 que se volatiliza al contacto con el aire (ATSDR, 2004), presente también en orina en forma de urea (Wrong *et al.*, 1984). 2) Sulfuro de hidrógeno (H_2S), gas incoloro, más pesado que el aire, inflamable, explosivo, tóxico, con olor a huevo podrido capaz de causar asfixia o muerte a los colaboradores o al ganado sobre todo cuando se realiza la manipulación de las excretas o fosas (EPA, 2014), de ahí radica una de la importancia de este gas en las unidades de producción. 3) Anhidro carbonoso o monóxido de carbono (CO) gas incoloro, inflamable, altamente tóxico(ATSDR, 2010), resultado de una combustión incompleta de derivados del petróleo (ATSDR, 2016), o madera y de procesos catabólicos, su importancia radica en los sistemas de calefacción por combustión que utilizan en las salas de los destetes para mantenerlos a temperaturas de 28°C durante la primera semana para decrecer dos grados semanalmente (Quiles, 2006), por lo que en los meses fríos la concentración es mayor. La importancia del estudio de la presencia de los gases en el área de destete radica a la falta de información durante este período, ya que la mayoría de los estudios se realizan en el área de engorda, además de la importancia que tienen estos en el desarrollo de diferentes patologías o trastornos, como problemas respiratorios, conjuntivitis, retardo de la pubertad en hembras, canibalismo, etc., por lo que es necesario generar información de la presencia de gases en unidades productivas. El objetivo de este estudio fue analizar la presencia y concentración de gases en las primeras cuatro semanas postdestete en una granja de cerdos en el estado de Querétaro.

II. Revisión de literatura

5.2.2 Generalidades del cerdo

Los cerdos son mamíferos ungulados, artiodáctilos de la familia de los *suinos*, del género *sus*, los cerdos que conocemos hoy en día descienden de cuatro subgéneros: *Eusus*, *Striatosus*, *Scrofa Ferus* y *S. Mediterraneus*, los cerdos *Sus Eusus* dan origen a los cerdos indonesios y al jabalí asiático, el *Sus Striatosus* da origen a los cerdos de tipo asiático, el *Sus Scrofa Ferus* son los antecesores de los cerdos célticos donde se encuentra al jabalí europeo, el *Sus Mediterraneus* da origen a las razas del Mediterráneo y a los cerdos Ibéricos (Zapatero, 2013; Danilo, 1998).

Los cerdos son animales omnívoros, sociales, que en libertad dedican el 50% de su tiempo a la búsqueda e ingesta de alimento con conductas de exploración, para lo que utilizan el olfato, tacto y gusto, hozan para remover la tierra y encontrar una gran cantidad de alimentos, principalmente, vegetales, frutas y semillas lo cual es el 45-50% de su dieta, las plantas, raíces, pasto, tubérculos, hongos y hojas el 35-40%, el resto de su dieta son invertebrados como insectos, arácnidos, caracoles etc. propios de la región en que habitan (Rodarte, 2013).

Se cree que hace 9,000 años se da la domesticación del cerdo, buscando disponibilidad de alimento, a la par buscando una mayor producción. A través de los años el cerdo doméstico ha sufrido múltiples cambios, producto de la selección, mejoramiento, confinamiento, alimentación, modificaciones ambientales, etc., tomando características de diferentes razas para aprovecharlas a favor de los requerimientos actuales (Danilo, 1998).

2.1.2 Situación de la Porcicultura en el mundo

En el mundo, el sector porcino ocupa un lugar muy destacado dentro de las producciones pecuarias con censo de 981,797,340 cerdos en 2016, un incremento del 142 % en los últimos 55 años (FAOSTAT, 2018).

Del total de la producción mundial, Asia representa el 58.4% de la producción, Europa el 19%, América el 18.2%, África el 3.7% y Oceanía el 0.6%. El país asiático con mayor producción es China, con el 81% del total de producción de su continente, En el continente Europeo Alemania, España y Rusia suman el 39 % de la producción. En América, Estados Unidos de América, Brasil y México suman el 72% de la producción, México por si solo aporta el 10%. En África Nigeria aporta el 23% de la producción mientras que en Oceanía Australia y Papua Nueva Guinea aportan el 79 % de su producción (FAOSTAT, 2018).

2.1.3 Situación de la Porcicultura en México

Se estima que en México existen más de 750 mil vientres en producción en 2017, los cuales producen más de 17 millones de cabezas de ganado anuales con un valor aproximado de \$ 48,683,335 miles de pesos, lo que coloca a la porcicultura en tercer lugar de importancia en cuanto al valor de la producción que genera. El sector presenta un dinamismo positivo desde el 2005 (SCHP, 2014; SAGARPA, 2018).

Todas las entidades cuentan con producción porcina, pero es en seis entidades donde se concentra más del 76 % de la producción: Jalisco, Sonora, Puebla, Yucatán, Veracruz y Guanajuato (SCHP, 2014; SAGARPA, 2018).

El consumo mundial per cápita de carne de cerdo es de 29.2 kg, en México el consumo per cápita es de 16.6 kg, solo por debajo de la carne de ave que es de 29.2 kg y ahora por encima de la carne de res, 14.9 kg (SIAP, 2017), lo que coloca en séptimo lugar a nivel América y en la diecisieteava posición a nivel mundial en consumo de carne de cerdo (Infocarne, 2013; Merlo, 2013).

Por lo anterior solo el 61% de la carne que se consume en México es producida en el país, mientras el resto es importado de otros países, principalmente Estados Unidos y Canadá, México se encuentra dentro de los países con mayor importación de carne de cerdo, solo por debajo de Japón y Rusia, con una tendencia al alza (Infocarne, 2013).

La participación de la industria cárnica en México solo representa el 0.6% del producto interno bruto, pero 14.4% del producto interno bruto de la industria de los alimentos (Infocarne, 2013).

2.1.4 Sistemas de producción

Existe una gran diversidad de sistemas productivos que se diferencian por el nivel de tecnología aplicada, se puede dividir por sus principales características en tres estratos: producción de traspatio, producción semitecnificada y producción tecnificada, estas dos últimas también llamadas producción intensiva. El sistema de traspatio contribuye con un 20% de la producción total, mientras que el sistema tecnificado aporta el 50% y semitecnificados aportan el 30% (SCHP, 2014; SAGARPA, 2015). Por otro lado, Pérez (2006) refiere el sistema tecnificado con una participación del 55%, semitecnificado 20% y 30% el de traspatio.

2.1.5 Sistema tecnificado

Utiliza tecnología de punta, mismas que se adaptan a las condiciones geográficas y climatológicas de la zona, sus instalaciones fueron diseñadas perfectamente para la producción, tienen un alto grado de integración, donde manejan desde la genética, la bioseguridad, sanidad, nutrición, planta de alimentos, formulación de raciones de acuerdo a las etapas productivas tomando en cuenta la genética y la calidad de los insumos, comercialización de productor englobando como un solo negocio, este tipo de granjas abastecen supermercados, principales zonas urbanas de país, exportaciones, mediante plantas de matanza propias, o bien establecidos, con lo que al final pueden bajar sus costos de producción, sin descuidar la productividad alcanzando altos niveles de rentabilidad y retorno de inversión (Cedillo, 2008; SAGARPA, 2015).

2.1.6 Sistema “todo dentro – todo fuera”

Es un sistema de manejo en el cual se realiza el vaciado completo de las instalaciones (gestación, maternidad, destetes y engorda), para facilitar la limpieza y el vacío sanitario de las mismas antes del ingreso de la nueva banda, mediante esta práctica se puede disminuir la diseminación de enfermedades, se recomienda con menos de 500 vientres (Iglesias *et al.*, 2012; Molina, 2013).

2.1.7 Sistema monositio, ciclo completo o flujo continuo

En este sistema todas las instalaciones (gestación, maternidad, reemplazo, destete y engorda) aunque cada uno se encuentra delimitado se encuentran dentro de el mismo terreno, aunque se encuentra delimitada cada área. Haciendo más fácil la movilización entre sitios, pero con un bajo control de bioseguridad (Iglesias *et al.*, 2012).

2.1.8 Sistema Multisitios

En este sistema se sitúan las distintas etapas productivas separadas por cierta distancia, este sistema se puede componer por tres o más sitios. El Sistema de tres sitios se puede encontrar en el Sitio 1; la gestación, maternidad, sementales, en el Sitio 2; destete, en sitio 3; engorda, en el sistema de cuatro o cinco sitios se puede encontrar en el sitio 4; los sementales, en el sitio 5; la cuarentena. En estos sistemas, es común el manejo “todo dentro, todo fuera” (Iglesias *et al.*, 2012).

2.1.9 Sistema semitecnificado

Presenta una mezcla de tecnología moderna con prácticas tradicionales de producción, generalmente son producciones de no más de 50 vientres diseminadas a lo largo del país, con una infraestructura no adecuada o no pensada en la especie, que repercute en el desempeño productivo del cerdo, aunque tienen acceso a una buena genética el manejo de esta es más deficiente, no cuentan con una planta de alimentos, por lo que la nutrición no siempre cubre los requerimientos por etapas o los sobre alimentan, las medidas zoonosanitarias no son las más adecuadas

haciéndolos más vulnerables a enfermedades y diseminación de las mismas. No existe una integración como tal por lo que muchas veces no tienen un flujo de producción constante la mayoría de las veces comercializan a través de intermediarios, matan en plantas de matanza municipales o privadas y la comercialización de la carne es más bien regional y local, la falta de mejora integral se ve reflejada en una baja productividad y competitividad provocando una baja rentabilidad (Cedillo, 2008; SAGARPA, 2015).

2.1.10 Sistema de traspatio o rural

Se considera como el sistema más antiguo de México que está presente en todo el territorio mexicano, se caracteriza por contar con instalaciones rústicas y animales de baja calidad genética o rústica, pero adaptada al medio lo que les permite la producción, con un manejo y nutrición no adecuado. La parte sanitaria es prácticamente nula por lo que muchos lo consideran como un riesgo para la salud humana, los productores lo consideran como una fuente extra de ingresos, su mercado es local y la mayoría de las veces de autoconsumo, su matanza la hacen *in situ* con una productividad baja y estacionalidad marcada (Cedillo, 2008; SAGARPA, 2015).

2.2 Producción de gases en el cerdo

2.2.1 Fisiología gastrointestinal

Es necesario entender la fisiología gastrointestinal, asimilación de las proteínas, procesos de fermentación en intestino grueso, microbiota intestinal y ciclo de la urea para conocer la formación de amoníaco y sulfuro de hidrogeno como gas.

El tracto gastrointestinal es el intermediario entre el medio externo y el medio interno, por lo que siempre está en contacto con una innumerable cantidad de sustancias ajenas al organismo como lo son los nutrimentos, agua o líquidos, microorganismos, células de descamación, etc.

El objetivo del sistema digestivo es proveer al organismo nutrientes, electrolitos, agua y excretar productos de desecho (Guyton y Hall 2009), el tracto digestivo es un tubo que se ensancha y estrecha en diferentes medidas, que va desde la boca hasta el ano (Muirhead y Alexander, 1997). Al diseccionarlo transversalmente se puede ver diferentes capas que en orden de la luz del intestino al exterior son; mucosa (donde se encuentran glándulas que secretan moco y enzimas), submucosa, muscular longitudinal, muscular circular y serosa (Junqueira y Carneiro, 1986). En conjunto con el tracto gastrointestinal se encuentran diferentes tipos de glándulas cuyas funciones se resumen; en las que secretan enzimas digestivas que van desde la boca hasta el íleon y las que secretan moco las cuales se encuentran desde la boca hasta el ano (Guyton y Hall 2009).

2.2.2 Función y motilidad gastrointestinal

Se puede decir que la motilidad del sistema gastrointestinal está regulada en dos niveles: extrínseco e intrínseco, la parte extrínseca está constituida por el sistema nervioso y los sistemas endocrinos, mientras que la parte intrínseca se compone por nervios intrínsecos y componentes endocrinos de las paredes intestinales desde el esófago hasta el ano (Guyton y Hall 2009). La parte nerviosa del sistema intrínseco está compuesto por cuerpos celulares y sus neuronas alojadas en la pared del intestino y dentro de estas capas de las paredes intestinales forma el plexo mientérico entre las capas de los músculos circulares, controla los movimientos gastrointestinales y el plexo submucoso en la submucosa controla la secreción y el flujo sanguíneo local (Guyton y Hall 2009), ambos están conectados interneuronamente entre sí, encontrando una mayor cantidad de conexiones neuronales en el mientérico lo que le hace una red compleja (Cunningham y Klein, 2003).

La inervación parasimpática se puede clasificar en craneal y sacra; los nervios vagos ocupan prácticamente todo el sistema parasimpático craneal, inervando a la boca, faringe, esófago, estómago, páncreas, intestino delgado y la primera porción del intestino grueso y ano, el sistema simpático inerva todas las

regiones del intestino con una función inhibitoria contraria al parasimpático (Guyton y Hall 2009).

El sistema nervioso gastrointestinal está compuesto por neuronas sensitivas, interneuronas y neuronas motoras, las neuronas sensitivas se sitúan en los mecanos receptores de las paredes de las capas musculares que dan información de la distensión de la pared y pueden ser estimuladoras o inhibitoras, mientras que los quimiorreceptores se encuentran en la mucosa y dan información de las condiciones químicas (Cunningham y Klein, 2003).

Al presentar musculatura en el tracto gastrointestinal, este tiene la capacidad de movimiento a la que se le conoce como motilidad cumpliendo con funciones como la desplazar el alimento, mantener el bolo alimenticio en lugares determinados para su digestión y absorción, mezclado y disminución de las partículas de manera mecánica, para que el alimento ingerido permanezca el mayor tiempo posible en contacto con la superficie de absorción (Cunningham y Klein, 2003).

La motilidad en el aparato gastrointestinal se da mediante ondas en aguja y ondas lentas, estas últimas originan en células especializadas intersticiales localizadas entre la capa muscular circular y muscular longitudinal a lo largo del tracto gastrointestinal como una característica intrínseca, dichas ondas determinan el ritmo de las contracciones, con un ritmo en estomago de 3 por minuto mientras que en duodeno de 12 por minuto en íleon de 9 por minuto, con la función principal de sincronizar (Guyton y Hall, 2009), cuando una de estas ondas alcanza el umbral y genera el potencial de acción que provoca la despolarización de la membrana da lugar a la contracción, pero es el sistema nervioso entérico el que da la llave para que se desarrolle el potencial de acción alterando el potencial de la membrana basal (Cunningham y Klein, 2003).

Las ondas de aguja son verdaderos potenciales de acción que en el músculo gastrointestinal duran entre 10-40 veces, mayor que de las grandes fibras nerviosas y se dan mediante canales de calcio y sodio los cuales tienen una apertura un poco lenta en comparación a los canales de sodio en fibras nerviosas, al ser más lentos se hacen más duraderos los potenciales de acción (Guyton y Hall, 2009).

En conjunto la motilidad dada mediante las ondas y la motilidad ocasionada por hormonas principalmente: colecistocinina, secretada por las células "I" de duodeno y yeyuno, Secretina de las células "S" del duodeno péptido inhibidor gástrico secretado en la parte alta del estómago (Ganong, 1994), aunque existen más hormonas, pero estas son las de mayor relevancia para la motilidad (Guyton y Hall, 2009).

Mediante la motilidad el alimento viaja desde la boca hasta el ano con diferentes procesos, primero con la aprehensión de este con los labios o lengua encargándose de este proceso los nervios faciales glossofaríngeos y la rama motora del trigémino para su posterior masticación con la mandíbula, dientes y carrillos comenzando así la digestión (Cunningham y Klein, 2003).

Una vez disminuido el tamaño de la partícula e insalivando el alimento es deglutido, este proceso es complicado ya que la mayor parte del tiempo la faringe realiza una función respiratoria y no deglutoria, esto implica dos fases, una voluntaria y una involuntaria, en la fase voluntaria la lengua lleva el bolo alimenticio a la faringe donde las terminaciones lo detectan dando lugar a la fase involuntaria que activa el reflejo de deglución abriendo el esfínter esofágico (Guyton y Hall, 2009), al mismo tiempo que permanece cerrada la glotis (Ganong, 1994).

El esófago impulsa el bolo alimenticio al estómago mediante contracciones dadas por el control de neuronas motoras somáticas que causan la contracción primaria y secundaria, la primaria es la continuación de la onda faríngea, si con esta contracción el alimento no alcanza el estómago se producen ondas secundarias por las paredes esofágicas (Guyton y Hall, 2009), con fibras estriadas de músculo esquelético de las que se compone en gran medida el esófago para alcanzar el extremo distal relajando el esfínter para dar paso al bolo al estómago (Cunningham y Klein, 2003).

El estómago se relaja para recibir el alimento, se puede decir que el estómago es el almacén de alimento para suministrar al intestino con un ritmo de liberación regido por la consistencia del alimento, el estómago consta de dos regiones fisiológicas; la región proximal que almacena el alimento y lo dispone en

capas según su ingesta y la región distal que muele y filtra el alimento con una tasa de vaciamiento que difiere según la ingesta pero algo líquido dura en él hasta 18 minutos mientras que carne magra entre 3-4 horas (Cunningham y Klein, 2003), con cada contracción de la región distal algo de alimento logra pasar el esfínter pilórico aunque este se contrae durante esa fase y la mayor parte de alimento retrocede, una vez que el alimento se mezcla con las secreciones gástricas se le llama quimo, además de las contracciones peristálticas que suceden en la presencia de comida cuando este órgano está varias horas sin alimento existen las llamadas contracciones de hambre que son contracciones fuertes que pueden durar hasta tres minutos en los humanos pueden ocasionar dolores ligeros en las primeras horas para incrementar después de 12 horas sin recibir ingesta y después de 4 días se debilitan gradualmente, este mecanismo también es activado por estados de hipoglucemia (Guyton y Hall, 2009).

El vaciamiento gástrico se da por el grado de llenado y el efecto de la gastrina, siendo probable que su mayor actividad sea las señales de retroinhibición del duodeno (Guyton y Hall, 2009).

La motilidad del intestino delgado tiene dos fases una digestiva y una interdigestiva, en la fase digestiva se conocen dos patrones de motilidad; propulsor y no propulsor o de segmentación, la fase de propulsión se da mediante contracciones ocasionadas por una cierta cantidad de alimento formando un anillo en la parte caudal a la contracción se da una zona de distensión empujando el contenido intestinal de 5 a 10 centímetros (Guyton y Hall, 2009), la fase interdigestiva o complejo de motilidad migratoria son fuertes contracciones que recorren en su totalidad al intestino con una función probable de limpieza empujando al intestino grueso el alimento no digerido así como bacterias a manera de controlar la población (Cunningham y Klein, 2003).

La función de la válvula ileocecal es evitar el reflujo del contenido cecal al intestino delgado ayudada por el esfínter íleocecal que se forma en los últimos centímetros del íleon con una capa de músculo más gruesa (Guyton y Hall, 2009).

Unas de las funciones del colon es el almacenamiento de las heces, fermentación de materia orgánica y la absorción de electrolitos y agua, donde se extrae hasta el 90 % de este líquido (Ganong, 1994), el cerdo no tiene un colon tan desarrollado como el conejo o el caballo o tan pequeño como los felinos o caninos (Cunningham y Klein, 2003), el movimiento se da de igual manera que en el intestino (Guyton y Hall, 2009), una de las características de motilidad del colon es el antiperistaltismo, que es una contracción en sentido contrario y cuya inervación está dada por el sistema nervioso entérico, finalmente el ano tiene dos esfínteres uno interno de musculatura lisa y uno externo de músculo estriado con inervación simpática que contrae el esfínter y parasimpática para la relajación (Cunningham y Klein, 2003).

2.2.3 Secreciones del aparato digestivo

Existen diferentes tipos de glándulas en el tracto gastrointestinal las más abundantes de las cuales se tienen miles de millones son glándulas unicelulares que secretan moco, las cuales son de suma importancia porque facilitan el paso del alimento, cuidando a la vez la integridad del intestino. En estómago y en la primera porción de duodeno se encuentran las glándulas tubulares profundas que secretan ácido y pepsinógeno, además se encuentran glándulas anexas más complejas asociadas al tracto gastrointestinal, como las salivales páncreas e hígado, activadas por la presencia de alimento, por irritación y distensión intestinal (Guyton y Hall 2009).

Cuando se realiza el proceso de masticación la comida se mezcla con la saliva proveniente de las glándulas salivales que posee propiedades digestivas, refrigerantes y antibacterianas, la propiedad antibacteriana es por diferentes maneras una de ellas es la forma mecánica, por arrastre, por presencia de anticuerpos iones tiocianato y lisozimas (Guyton y Hall 2009). La acción refrigerante se da mediante la evaporación de la saliva, la parte digestiva es debido a que en los animales omnívoros está presente la enzima amilasa, esta enzima es activa a un pH neutro o ligeramente alcalino por lo que es activa por algún tiempo en la parte proximal del estómago (Cunningham y Klein, 2003).

La saliva es producida en las glándulas acinares que secretan agua, electrolitos, amilasa, moco, lisozimas e inmunoglobulinas y se modifica en los tubos colectores ya que ahí se reabsorben sodio y cloruro dando como resultado una solución hipotónica rica en iones potasio y bicarbonato (Guyton y Hall, 2009).

Los mamíferos como el cerdo presentan tres pares de glándulas salivales: las parótidas ubicadas debajo del oído, las mandibulares ubicadas en el espacio intramandibular y las linguales en la base de la lengua, para drenar a un conducto principal y finalmente en una abertura única en la boca, además de glándulas bucales (Guyton y Hall, 2009). La secreción de moco varía entre ellas, el estímulo de secreción se da por diferentes mecanismos uno de ellos es la ingesta o condicionamiento de esta, la masticación y por la estimulación de nervios simpáticos o por catecolaminas está última con menor importancia (Cunningham y Klein, 2003).

En el estómago se puede encontrar dos tipos de mucosa; glandular y no glandular aunque esta última solo está presente en ciertas especies, el cerdo únicamente presenta la zona glandular, misma que se puede dividir en tres regiones: cardias, parietal y pilórica, cada región con glándulas similares pero con secreciones diferentes, presenta invaginaciones o poros y en ellos células mucosas superficiales, células parietales en la zona parietal secretan ácido clorhídrico, las células mucosas del cuello secretan moco pero con mayor dilución que las células superficiales y las células principales que secretan pepsinógeno precursor de la pepsina que es la forma activa de la enzima, las glándulas del cardias secretan moco alcalino y las glándulas del píloro secretan gastrina (Cunningham y Klein, 2003).

El páncreas situado dorsal al estómago y paralelo a él es una glándula de gran tamaño (Guyton y Hall, 2009), compuesta por dos tipos de tejido glandular: una parte más pequeña endocrina que secreta directo a torrente sanguíneo y una porción mayor que se conoce como páncreas exocrino que elabora secreciones que pasan a la luz intestinal (Cunningham y Klein, 2003).

El páncreas es una glándula acinar, cuyas células de los acinos poseen un retículo endoplásmico desarrollado indiferenciado que sintetizan enzimas digestivas

en forma de zimógenos como un mecanismo de defensa, las células centroacinares se encuentran en los conductos y en la unión de los acinos, producen una secreción acuosa rica en bicarbonato para neutralizar el pH proveniente del estómago (Cunningham y Klein, 2003). Las enzimas producidas en este órgano degradan principalmente; proteínas, hidratos de carbono y grasas. Las enzimas proteolíticas más importantes son la tripsina, quimiotripsina y la carboxipolipeptidasa son secretadas en forma de zimógeno activadas en la luz del intestino mediante una enterocinasa (Guyton y Hall, 2009).

La amilasa pancreática es la encargada de digerir los carbohidratos para formar trisacáridos y disacáridos, las enzimas para la digestión de las grasas son: lipasa pancreática, colesterol esterasa y la fosfolipasa que hidrolizan grasas, ésteres de colesterol y ácidos grasos de fosfolípidos (Guyton y Hall, 2009).

Una de las tantas funciones del hígado consiste en la secreción de la bilis, la cual desempeña un papel fundamental en la absorción y digestión de las grasas mediante la emulsificación de grandes partículas (Guyton y Hall, 2009). el hígado está compuesto de monocapas de hepatocitos con canículos en las costados que desembocan en los conductos biliares donde secretan los ácidos biliares sintetizados en el retículo endoplásmico a partir del colesterol convirtiéndolo en ácido cólico o ácido quenodesoxicólico en cantidades iguales estos a su vez se conjugan con glicina, taurina para dar lugar a los ácidos biliares gluco y tauro conjugados dando lugar a una molécula hidrosoluble e hidrófoba con características de detergente con la capacidad de emulsionar las grasas (Cunningham y Klein, 2003). Las sales biliares ayudan a la absorción de: ácidos grasos, monoglicéridos, colesterol y otros lípidos del aparato digestivo mediante la formación de micelas (Guyton y Hall, 2009).

2.2.4 Digestión y absorción en procesos no fermentativos

El proceso de digestión y absorción, aunque bien son procesos bioquímicos separados, están íntimamente relacionados (Cunningham y Klein, 2009), el primero

es un proceso para disminuir el tamaño de las partículas hasta unidades absorbibles, estos productos pasan al organismo atravesando el epitelio intestinal, llevándose a cabo la absorción (Ganong, 1994).

El objetivo del intestino es tener la mayor superficie de contacto en un espacio reducido es por eso que se ve que el intestino se encuentra plegado, en la mucosa del intestino se encuentran nuevamente pliegues circulares con vellosidades en forma de dedos en el ápice de estas vellosidades formadas por enterocitos, se encuentra un borde de cepillo hacia la luz, en las uniones laterales de las células está la membrana basal, formando uniones estrechas y con una función muy especial en el proceso de absorción (Cunningham y Klein, 2003).

Las células caliciformes forman moco el cual se mezcla con la glucocálix dando origen a una capa viscosa membranosa que atrapa a las moléculas, en la parte medial del intestino se forma otra capa que se le conoce como capa de moco suelta, la cual tiene un tránsito más rápido en comparación con la capa de moco de la membrana (Cunningham y Klein, 2003).

La digestión química de los carbohidratos, proteínas y grasas está dada por enzimas que básicamente devuelven los iones hidrogeno e hidroxilo del agua al polisacárido o péptido, regresando tres moléculas de agua al triglicérido, dichos procesos son básicamente procesos de hidrólisis (Guyton y Hall, 2009).

Las secreciones de las glándulas del intestino realizan la digestión en dos fases una luminal y una membranosa: la fase luminal; que se lleva a cabo en la porción medial del tubo digestivo provoca una hidrolisis en muchos caso incompleta de los nutrientes disminuyéndolos de sus moléculas originales para posteriormente dar lugar a la fase membranosa; que se lleva a cabo en las paredes del intestino donde las enzimas de borde de cepillo o enzimas dentro de los enterocitos terminan por llevar las moléculas a cadenas mucho más cortas para que puedan ser absorbidas y aprovechadas (Cunningham y Klein, 2003).

Las conexiones de los enterocitos forman uniones especiales en el proceso de absorción y dan lugar a los espacios laterales donde se encuentra liquido

extracelular permitiendo el paso libre de agua y de moléculas pequeñas (Cunningham y Klein, 2003).

Los carbohidratos solubles son digeridos en la luz intestinal por la alfa-amilasa que hidroliza los enlaces alfa 1,4 no así sobre los enlaces terminales dando como resultado polisacáridos o dextrinas, a las ramificaciones con enlaces 1,6 se les conocen como dextrinas límites, las cuales son hidrolizadas en el borde de cepillo por enzimas específicas como la maltasa, isomaltasa, sacarasa y lactasa, los carbohidratos insolubles pasan por el intestino delgado sin ser degradados (Cunningham y Klein, 2003).

La glucosa se transporta por mecanismos de cotransporte de sodio, primeramente el sodio pasa por las conexiones laterales al espacio lateral lo que determina una reducción intracelular de sodio, lo que facilita el paso del sodio al interior de la célula por el borde de cepillo por difusión facilitada, para realizarse dicha acción es necesaria una proteína de transporte donde se une el sodio y la glucosa para pasar al interior de la célula una vez dentro otras proteínas de transporte facilitan su difusión al espacio lateral (Guyton y Hall, 2009).

La digestión de las proteínas es similar al de los carbohidratos la diferencia radica que, en la fase luminal, ya se tienen algunos aminoácidos libres y el número de enzimas involucradas en el proceso. La mayoría de las enzimas que actúan en la fase luminal son endopeptidasas las cuales rompen las proteínas en puntos internos obteniendo péptidos de cadena corta y aminoácidos. La otra enzima de la fase luminal, actúan en los bordes externos y se denominan exopeptidasas que pueden ser sintetizadas en estómago y páncreas (Cunningham y Klein, 2003).

En la fase membranosa las peptidasas son secretadas en el borde de cepillo y reducen a las cadenas resultantes de la fase luminal a tripéptidos, dipéptidos y aminoácidos libres, son absorbidos al interior de la célula donde las peptidasas intracelulares terminan por hidrolizar estos enlaces resultando aminoácidos (Cunningham y Klein, 2003), al igual que en los hidratos de carbono los péptidos pueden ingresar a la célula mediante el cotransporte de sodio, pero algunos aminoácidos no usan este medio si no que son transportados por difusión facilitada

por proteínas en la membrana, esto pasa igualmente con algunos monosacáridos como la fructuosa (Guyton y Hall, 2009).

2.2.5 Utilización de los aminoácidos

Los aminoácidos constan de un carbono alfa unido a un grupo amino, un carboxilo, un hidrogeno y a una cadena lateral, la cual marca la diferencia para el aminoácido (Mathews *et al.*, 2005), las cadenas laterales están formadas por compuestos de carbono por lo que pueden aportar energía al organismo, si bien autores comentan que no existe un almacén de aminoácidos Cunningham y Klein, 2003, mencionan que el músculo esquelético puede jugar este papel.

Una vez que son absorbidos los aminoácidos pasan a hígado vía porta antes de alcanzar la circulación sistémica, con excepción del glutamato que es desaminado prácticamente en su totalidad en intestino, mientras que su grupo amino es transferido al piruvato para formar alanina, lo mismo pasa para el aspartato, pero en menor medida, lo que hace que la alanina esté presente en altas concentraciones como se puede ver en la figura 1 (Cunningham y Klein, 2003).

Una vez en hígado los aminoácidos son desaminados dando lugar a ceto-análogos los cuales son metabolizados para producir energía o síntesis de ácidos grasos, de los aminoácidos ingeridos entre el 14 al 20 % son utilizados en el hígado para la síntesis de proteína hepática, solo un 23 % pasa a circulación sistémica como aminoácidos libres para la síntesis de proteína no hepática y cerca de un 57% es convertido a urea aunque una pequeña parte se excreta como amonio libre por orina (Cunningham y Klein, 2003).

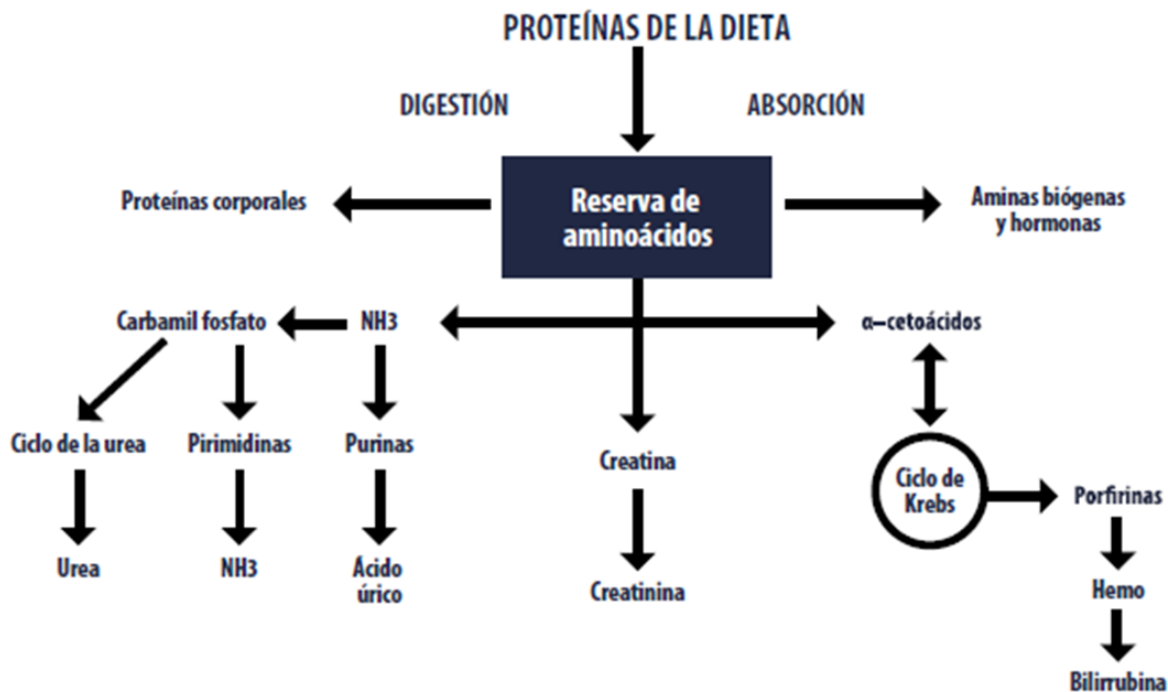


Figura 1. Metabolismo de las proteínas Fuente: Montgomery *et al.* (1999).

2.2.6 Ciclo de la urea

La parte amino de los aminoácidos es excretada principalmente en forma de urea en los cerdos, la urea es producida en el hígado y transportada vía sangre a los riñones para finalmente ser excretada por la orina. El ciclo de la urea o ciclo de la ornitina se lleva a cabo en el hepatocito, una parte del ciclo en la mitocondria y otra en el citosol. Los aminoácidos llegan a la mitocondria del hepatocito donde es liberado el grupo amino en forma de amonio (NH_4^+) este se une al bicarbonato (HCO_3^-) dando lugar al carbamoil fosfato, mediante la carbamoil fosfato sintetasa I, que requiere dos ATP para llevarse a cabo, después la carbamoil fosfato reacciona con la ornitina por medio de la ornitina transcarbamoilasa, liberando un fosfato para dar origen a la citrulina, la citrulina sale de la mitocondria en donde reacciona con el aspartato y forma arginosuccinato, por la enzima arginosuccinato sintasa, el aspartato dona el otro grupo amino al argino succinato necesitando una molécula

de ATP para la reacción, mediante una liasa da origen a la arginina y como secundario al fumarato, que a su vez mediante una arginasa da origen a una molécula de ornitina y una molécula de urea la cual sale a torrente sanguíneo para ser eliminada vía orina, la ornitina regresa a la mitocondria y da origen nuevamente a el carbamoil fosfato, iniciado nuevamente el ciclo como se puede ver en la figura 2.

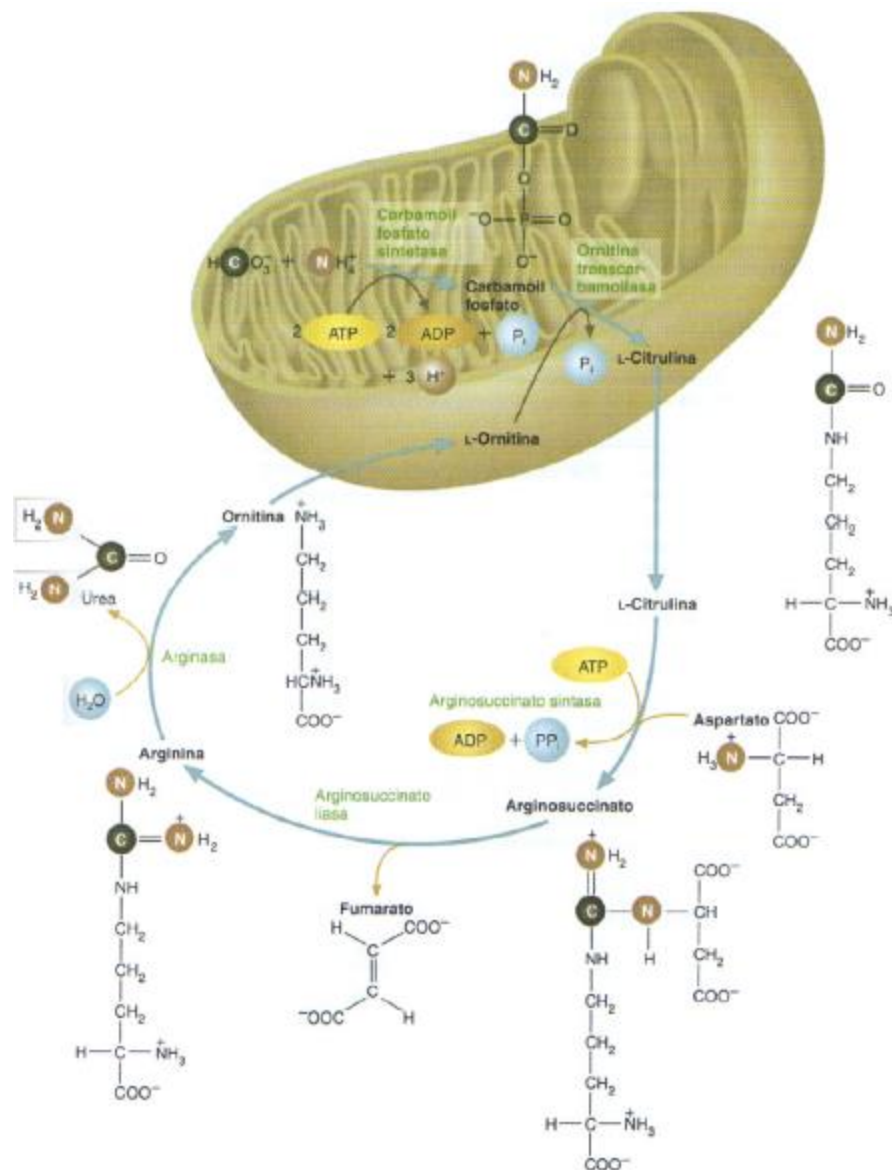


Figura. 2. Ciclo de la Urea Fuente: McKee y McKee (2003).

2.2.7 Desarrollo microbiano en tracto digestivo

El tracto gastrointestinal de los fetos es estéril, hasta el momento del nacimiento donde comienza el complejo proceso de colonización, con múltiples factores como la madre, el alimento y del medio ambiente lo que da lugar a la flora bacteriana (Mackie *et al.*, 1999). Mackie *et al.* (1999) observaron que las poblaciones microbianas en las heces de las madres son muy similares a las de sus camadas en la primera semana, por lo que hace pensar que la primera colonización del lechón es por parte de la madre, Swords *et al.*, (1993), observaron que la colonización inicial del colon se da de manera súbita en las primeras 12 horas de vida del lechón en su mayoría coliformes anaerobios facultativos pasando mayormente a anaerobios obligados a las 48 horas posnacimiento, sin embargo, Katouli *et al.* (1997) también observaron que a las dos semanas de edad los cerdos desarrollan una flora diferente a la de la hembra y similar entre cerdos de la misma camada (Katouli *et al.*, 1997). En humanos adultos la cantidad de microorganismos que habitan el tracto digestivo supera el número de células de todo el organismo llevado a la décima potencia (Blaut, 2011).

Swords *et al.* (1993), sugirieron dividir en tres fases la colonización del colon, la primera fase se da desde el nacimiento a los primeros siete días de edad, donde predominan organismos aerobios y anaerobios facultativos, lo que en ese momento representan el 80 % de las bacterias totales, son gradualmente suplantados por anaerobios estrictos, la segunda fase se da del día 7 al 21 o al término de la lactancia donde de igual manera se da el reemplazo de bacterias anaerobias facultativas por anaerobias como *Clostridium ssp*, *Eubacterium ssp*, *fusobacterium ssp* y ocasionalmente *Bacteroides spp*, La tercera fase comienza al momento del destete, reemplazando bacterias anaerobias gram positivas por gram negativas del género *Bacteroides spp*, así a los 120 días de edad las bacterias aeróbicas representan menos del 0.1% del total de la población.

Todos los compuestos nitrogenados como las proteínas no degradadas en intestino delgado, restos celulares, nitrógeno, microorganismos, nitrógeno no proteico, amidas, amoniaco, nitratos, alcaloides, ácido úrico, vitaminas del grupo B,

purinas, pirimidinas, etc., llegan al colon donde pueden ser utilizadas (Canudas, 2008). Cummings y Macfarlane, (1991) comentan que en humanos el contenido de compuestos nitrogenados puede ser hasta el 6% del peso de las heces en materia seca, las concentraciones de amoníaco son influidas por el tiempo que este pasa en el colon, por lo que dietas bajas en fibra o un tránsito lento incrementa la cantidad de proteína fermentada y consecuentemente aumenta los niveles de amoníaco.

2.2.8 Procesos fermentativos mediante degradación microbiana

La cantidad de nitrógeno fermentado en colon depende del total de proteína en la dieta y la digestibilidad de esta. La proteína de origen animal generalmente es más digestible que la proteína de plantas o leguminosas, por lo que a mayor cantidad de proteína proveniente de plantas mayor será la cantidad de nitrógeno en orina y en colon (Widney *et al.*, 2012).

La parte proximal del colon tiene un pH menor, lo que resulta en una mayor fermentación de carbohidratos, mientras que en la parte distal el pH aumenta y favorece la fermentación proteica (Vince *et al.*, 1973). El resultado de la fermentación de carbohidratos favorece la producción de ácidos grasos de cadena corta principalmente butirato, el cual es absorbido y utilizado como energía para los colonocitos, apoyando a la reducción del estrés oxidativo, inflamación, reforzando la barrera de defensa del colon y reduciendo el riesgo de cáncer, sin embargo, también producen aminoácidos mediante desaminación (Widney *et al.*, 2012).

Las bacterias presentes en el tracto gastrointestinal son similares a las que podemos encontrar en diferentes especies de mamíferos, tienen una forma similar de nutrirse sin importar se encuentren en rumen, ciego o colon, siempre y cuando presenten una anaerobiosis (Hespell y Smith, 1983).

La mayoría de las bacterias en colon prefieren utilizar los carbohidratos como fuente de energía, sin embargo, la proteína también es importante como sustrato, su degradación se da en varios pasos; la proteína es hidrolizada a oligopeptidos por *Bacteroides spp* mediante proteasas unidas a células, mientras que bacterias del

género *Clostridium*, *Propiomibacterium* y *Bacillus* producen proteasas extracelulares, el *Streptococcus* y *Staphylococcus fecales* producen las dos formas de proteasas, obteniendo como resultado cadenas de carbón y nitrógeno (Blaut, 2011).

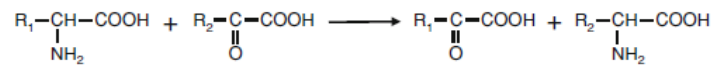
Los microorganismos necesitan de nutrientes para producir energía y multiplicarse, el 95% del peso de las bacterias excluyendo agua está dado por; carbono, oxígeno, hidrogeno, nitrógeno, azufre, fosforo, potasio, calcio, magnesio y hierro, por lo que son captados relativamente en grandes cantidades de una manera compensada, por lo que si un nutriente esencial no se encuentra presente se verá limitado el crecimiento (Prescott y Harley, 2002).

La proteólisis es un proceso importante, provee nitrógeno para el crecimiento de bacterias y aminoácidos para la fermentación, las cantidades, tipo de fermentación y productos de ésta, van a depender de la cantidad de sustrato, su estructura química y composición. Cerca del 30 % del resultado de la fermentación proteica da como resultados ácidos grasos de cadena corta, principalmente; acetato, butirato y ácidos grasos de cadena ramificada como isobutirato, 2-metilbutirato e isovalerato (Macfarlane y Macfarlane, 1997).

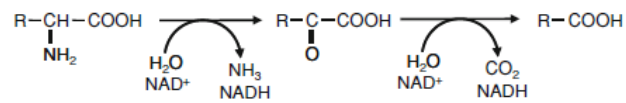
La degradación de proteína en colon se da por los microorganismos que incorporan pequeños péptidos y aminoácidos al interior celular para ser degradados hasta amoníaco (Owens *et al.*, 1988), o para ser incorporados directamente a la síntesis de proteínas (Rotger y Ferret, 2004), también puede ser fermentada por los microorganismos generando gases como CO₂, CH₄, H₂S y NH₃ entre otros compuestos (Yao *et al.*, 2015).

Los aminoácidos son metabolizados mediante transaminación, desaminación oxidativa, descarboxilación oxidativa, desaminación reductiva y reacción de Stickland (Figura 3), la velocidad de estas reacciones de aminoácidos hasta amoníaco es rápida por lo que su limitante es la disponibilidad del sustrato (Rotger y Ferret, 2004; Widney *et al.*, 2012).

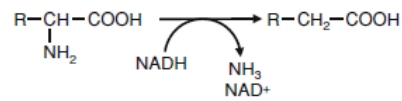
Transamination



Oxidative deamination followed by oxidative decarboxylation



Reductive deamination



Stickland reaction



Figura 3. Principales reacciones de degradación de aminoácidos

Fuente: Rotger *et al.* (2012).

Parte del amoníaco producido en el intestino grueso es absorbido y trasportado al hígado vía porta, la mitad es convertido en urea para ser excretado por orina (Figura 4), el resto es transaminado para producir aminoácidos, otra parte es excretado como gas y compuestos nitrogenados, ver Figura 5 (Wrong *et al.*, 1984).

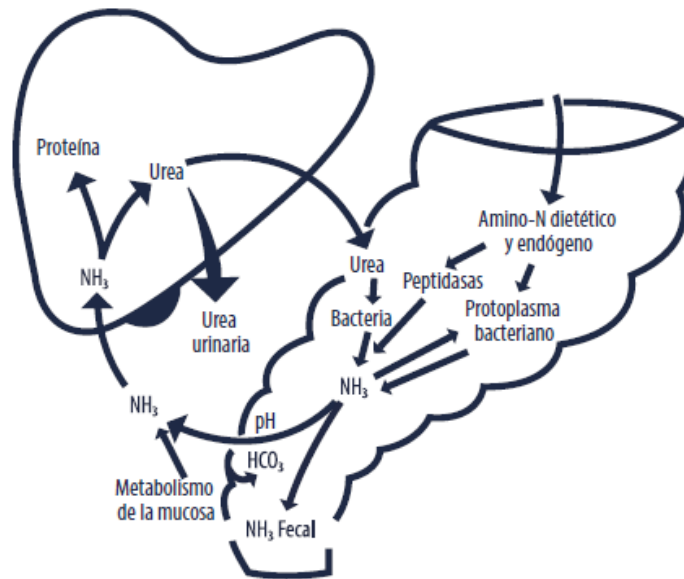


Figura 4. Origen y destino del amoníaco intestinal

Fuente: Wrong *et al.* (1984).

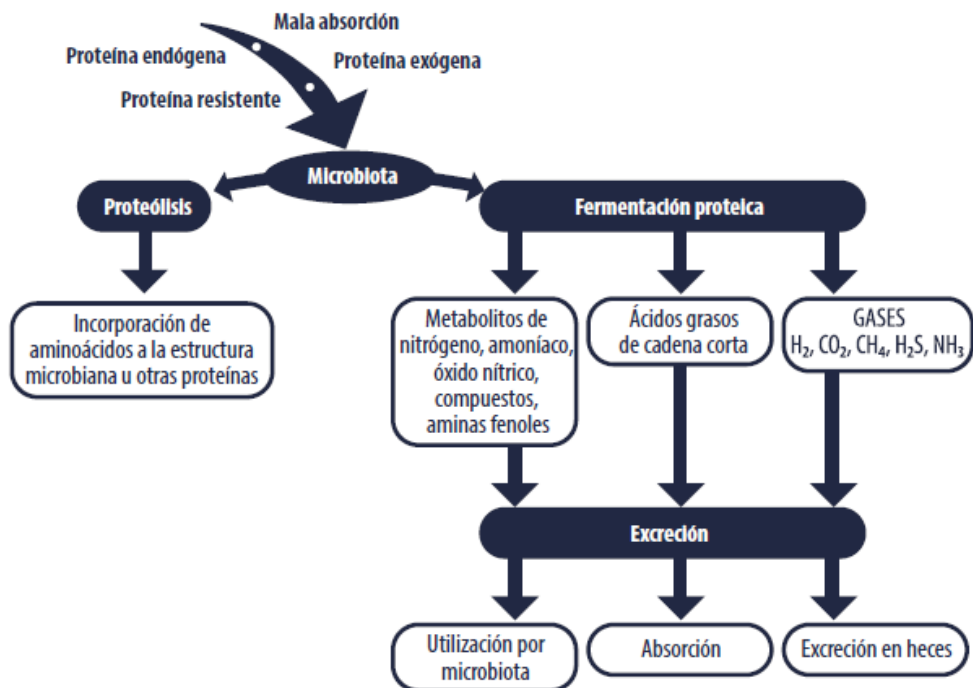


Figura 5. Destino de la proteína en intestino grueso

Fuente: Adaptado de Yao *et al.* (2015).

2.2.9 Formación de sulfuro de hidrógeno

La producción de sulfuro de hidrógeno está dada por las bacterias reductoras de sulfatos que habitan en la flora normal del colon (Attene-Ramos *et al.*, 2006), el sulfuro dietético, mucina y aminoácidos azufrados como la metionina, taurina, cistina y cisteína dan como resultado la formación de sulfuro de hidrógeno, por lo que la concentración de sulfuro fecal se correlaciona con la proteína dietaría (Widney *et al.*, 2012), (Yao *et al.*, 2015).

El sulfato ingerido y los aminoácidos azufrados son absorbidos en su mayoría en intestino delgado y metabolizados en hígado produciendo sulfato, una parte del sulfato producido es llevado al riñón donde se excreta mediante la orina, el resto regresa al intestino delgado mediante una bomba de sulfatos y pasa a colon donde es asimilado y/o fermentado por las bacterias y en conjunto con el hidrógeno dan lugar al ácido sulfhídrico o sulfuro de hidrógeno, ver Figura 6 (Roediger *et al.*, 1997).

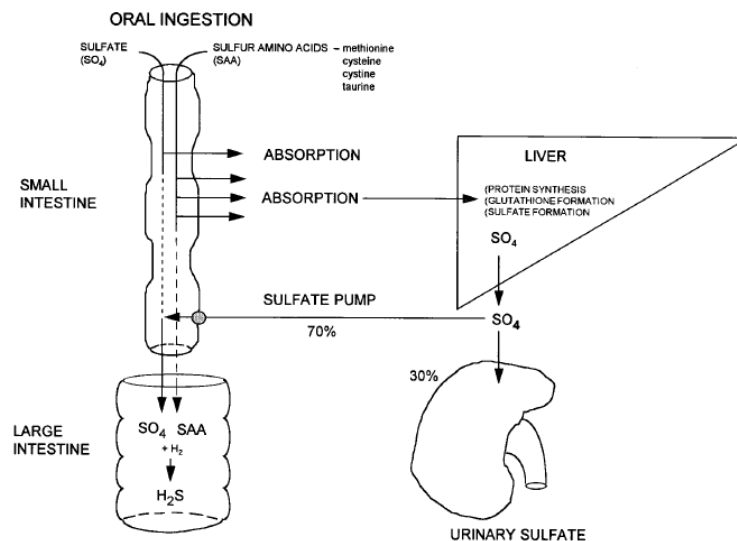


Figura 6. Metabolismo de aminoácidos azufrados y producción de H₂S

Fuente: Roediger *et al.* (1997).

2.3.1 Producción de gases en el medio ambiente

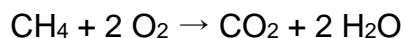
El gas natural está constituido en su mayoría por metano (CH₄) aunque puede variar según el lugar de extracción, por lo que la cantidad de metano varía entre 82.9-97.3%, seguido por etano (C₂H₆) 2.1-9.4%, propano (C₃H₈) 0.2-2.6%, butano (C₄H₁₀) 0.1-0.6%, pentano (C₅H₁₂) 0-0.1%, dióxido de carbono (CO₂) 0-1.4% y nitrógeno (N₂) 0.3-12% (Calventus *et al.*, 2006).

Cuadro 1. Composición química del gas natural.

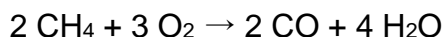
Composición	CH ₄	C ₂ H ₆	C ₃ H ₈	CO ₂	N ₂
% Volumen	90.87	6.19	0.27	1.88	0.79

Fuente: Villafior *et al.*, 2008.

El aire está constituido técnicamente por dos elementos 21% de O₂ y 79 % de N₂ que en una reacción de combustión es el comburente, mientras que el metano sería el combustible (Calventus *et al.*, 2006), la combustión es una reacción exotérmica que se da cuando los átomos de carbono, en este caso del metano se combinan con el oxígeno del medio ambiente produciendo calor, dióxido de carbono y agua (Fernández, 2014). La reacción lineal de combustión del metano se da de la siguiente manera:



Considerándose como una reacción irreversible. Una combustión incompleta se puede dar por un déficit de O₂:



dando lugar a la producción de monóxido de carbono (Villafior *et al.*, 2008).

Los desechos de los cerdos; heces, orina, restos de alimento, agua de bebida van a la fosa debajo del *slat* donde es contenida hasta que rebasa el nivel de

desagüe o hasta que se elimina de manera manual para su recambio, el contenido de este va a depender de la dieta del cerdo, la digestibilidad y la degradación en el intestino grueso (Rodríguez y Forcada, 2013).

Las emisiones de amoníaco son el resultado de la degradación de nitrógeno existente en las excretas por microorganismos anaeróbicos, la urea excretada en orina es rápidamente convertida en NH_3 mediante la enzima ureasa presente en heces, este proceso lleva unas pocas horas donde finalmente el amoníaco es volatizado (Figura 7). El nitrógeno presente en heces tiene un proceso más lento, al igual que en el intestino grueso, una parte del nitrógeno es utilizado por las bacterias y degradado para formar NH_3 , H_2S y óxido nítrico (Fernandes *et al.*, 2015).

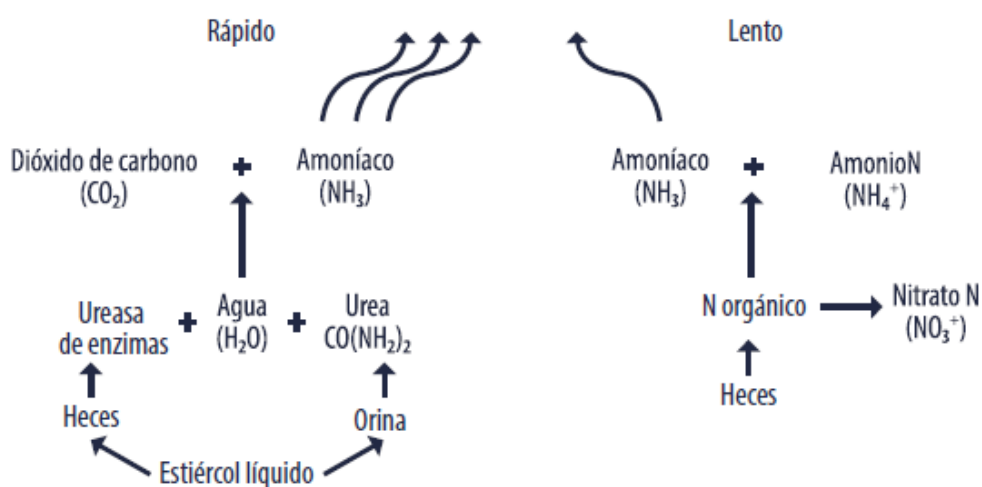


Figura 7. Proceso de volatización del amoníaco de heces

Fuente: Fernandes *et al.*, (2015).

2.4.1 Calidad del medio ambiente

La porcicultura es una industria que cambia constantemente y rápidamente, la implementación de nuevas tecnologías, nuevos sistemas de producción, mejoras genéticas y técnicas de producción, las nuevas preferencias de los consumidores modifican la forma de producir de hoy en día, a diferencia de hace algunos años se

puede producir cerdos en una mayor escala que antes, para poder acelerar la producción es necesario concentrar los cerdos en granjas y a su vez en salas o casetas, donde se controla el medio ambiente de los animales (Rodarte, 2013).

Al concentrar los cerdos en un espacio donde pasan sus vidas, sin tomar en cuenta las necesidades físicas, fisiológicas y etológicas del cerdo hasta su venta o cambio de sala y es ahí donde comen, conviven con otros cerdos y producen sus excrementos; con esto último aumenta la producción de algunos gases que se pueden quedar en la caseta, por lo que es necesario el manejo del medio ambiente de la misma (Salazar, 2005).

2.4.2 Características de los gases

2.4.2.1 Amoníaco, NH₃

Su nombre deriva de una divinidad egipcia: Amón, los egipcios preparaban un compuesto, cloruro amónico, a partir de la orina de los animales en un templo dedicado a este Dios. Cuando se llevó a Europa mantuvo ese nombre en recuerdo de la sal de Amón (Ruiz *et al.*, 2010).

El amoníaco también es conocido como amoníaco gaseoso o amoníaco anhidro (Agency for Toxic Substances and Disease Registry, ATSDR, 2004). Es una sustancia química encontrada de manera natural en el aire, suelo y agua, también es producido por seres humanos, animales y microorganismos como parte de procesos biológicos normales, aunque se produce de manera industrial todos los años (Environmental Protection Agency, EPA, 2016). Esta agencia coloca al amoníaco en su lista de residuos peligrosos para la nación en el lugar 137 de 1647.

Esta Molécula está compuesta por un átomo de nitrógeno (N) y tres átomos de hidrógeno (H) y cuya fórmula química es NH₃, gas incoloro, tóxico, con un olor penetrante e irritante, más ligero que el aire, puede ser comprimido y convertido a líquido bajo presión, encontrado de forma normal en el aire a 0.0006 ppm, el olor a

amoníaco es conocido porque se utiliza en las sales aromáticas y productos de limpieza (ATSDR, 2004).

El amoníaco reacciona con el agua para formar ion amonio; $\text{NH}_3 + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{NH}_4^+ + \text{OH}^-$. Cuando el pH disminuye aumenta la concentración de NH_4^+ , por lo que en el organismo lo encontramos de esa manera (EPA, 2016).

2.4.2.2 Sulfuro de hidrógeno, H_2S

El sulfuro de hidrogeno también conocido como hidruro de azufre, hidrógeno sulfurado, ácido hidrosulfúrico (ATSDR, 2016), es un gas compuesto por dos moléculas de hidrógeno y una de azufre H_2S (EPA, 2010). es incoloro e inflamable a temperatura ambiente de olor penetrante, irritante y asfixiante similar al de los huevos podridos, solo perceptible en bajas concentraciones; concentraciones mayores a 100 ppm causa fatiga del nervio olfatorio por lo que el olor se hace imperceptible (EPA, 2014), se encuentra en el medio ambiente en concentraciones muy bajas que oscilan entre las 0.00071 y 0.066 ppm (The National Academies Press NAP 2010), gas inflamable más pesado que el aire por lo que se encuentra en las partes bajas, altamente toxico (ATSDR, 2016).

Aproximadamente el 90 % que se encuentra en la atmosfera es producido de manera natural por bacterias reductoras de sulfatos, y compuestos azufrados, puede ser emitido del petróleo crudo, agua contaminada, alcantarillas, fosas de sedimentación y una menor parte de volcanes, fuentes termales y formaciones geológicas similares (ATSDR, 2016).

2.4.2.3 Monóxido de carbono, CO

También llamado oxido de carbono o monóxido es un gas incoloro, inodoro, no irritante, sin sabor, flamable (ATSDR, 2010), sofocante, toxico que puede causar una muerte repentina (CDC, 2009), producido por la combustión incompleta de

sustancias como el gas natural, gas metano, gasolina, madera, por máquinas de combustión, estufas etc. también producido por plantas, lagos, océanos, actividad volcánica (ATSDR, 2010). Este gas causante de más de 500 mil muertes accidentales y más de 2,000 suicidios mediante intoxicación, además de 15, 000 visitas a urgencias cada año en los Estados Unidos (CDC, 2009; EPA, 2009).

Constituido por una estructura química simple, una molécula de oxígeno y una de carbono (CO) se puede encontrar en el exterior en una concentración que varía por región, pero oscila entre 0.03-0.20 ppm, en espacios cerrados entre 0-5 ppm (ATSDR, 2010), que puede llegar a ser letal cuando se inhala y llega a una concentración en sangre del 40 %, lo que equivale a una exposición de 200 ppm en 300 minutos (Stewart, 1975).

III. Objetivos

5.2 Objetivo General.

Determinar la presencia y concentración de gases producidos por cerdos de una granja durante las primeras cuatro semanas postdestete en casetas de ambiente controlado, así como la relación que guardan con la temperatura y humedad del medio ambiente.

3.2 Objetivos Específicos

- Determinar la presencia de amoníaco, sulfuro de hidrogeno y monóxido de carbono y sus concentraciones dentro de la caseta durante las primeras cuatro semanas postdestete, mediante la instalación de medidores de gases portátiles.
- Determinar la temperatura y humedad relativa mediante registradores de temperatura ambiental y humedad relativa dentro de las casetas y la relación que presenta con los gases.

IV. Material y Métodos

5.2 Lugar de estudio

El presente estudio se realizó en una granja de cerdos de la ciudad de Santiago de Querétaro, Querétaro, México. La ciudad de Santiago de Querétaro se ubica al poniente del estado, con coordenadas entre 20°31' a 20°56' de latitud norte y de los 100°17' a 100°36' de longitud oeste, corresponde al 6.5% de la extensión total del estado, colinda al oriente con el municipio de El Marqués, al sur con Huimilpan y Corregidora, al Poniente con los municipios de Apaseo el Grande y San Miguel Allende, Guanajuato; y al Norte con el municipio de Comonfort, Guanajuato. El municipio cuenta con un clima templado semiseco, con una temperatura media anual de 18°C, mayo y junio son los meses más calurosos, con temperaturas de hasta 36°C, mientras que diciembre y enero son los más fríos con temperaturas de -3°C, a una altura sobre el nivel del mar entre los 1 900 a 2 150 msnm, con una precipitación pluvial anual promedio es de 555mm y vientos predominantes del noroeste, sur y suroeste (INAFED, 2015).

4.2 Animales y alojamiento

Naves de alojamiento.

El sitio dos de la granja comprende 16 salas de destete de ambiente controlado de forma manual, cada sala está compuesta por 14 corrales con pisos de *slats* y un pasillo central de concreto, 7 corrales por cada lado de 6 x1.8 m, separados entre sí con paredes de reja, bajo los *slats* se encuentran las fosas de 50 cm de profundidad, la sala estaba limpia y desinfectada con las fosas secas.

Corrales.

Las dimensiones de los corrales fueron de 6 x1.8 m donde se alojaron 22 lechones por corral con un espacio de 0.32 m², cada corral contó con dos bebederos de altura ajustable con un flujo de 1.5 L/min y un comedero de acero inoxidable con

5 bocas y un comedero de apoyo, a los cuales presentaban alimento para recibir a los cerdos.

Manejo de medio ambiente y ventilación.

En cada costado de la sala se encontraban ventanas, las cuales se manejaron con cortinas de manera manual para controlar el movimiento de aire y la temperatura, como apoyo para este manejo se encontraban dos calentones a gas en la mitad de la sala a una altura de 1.3 m sobre el nivel del piso y una criadora a gas en el centro de la sala, así como un termómetro de mercurio colocado a 1.5 m por encima del nivel del piso en la entrada de la caseta, dicho manejo de temperatura fue regulada de forma manual por el encargado del sitio apoyándose con el termómetro dentro de la sala, al arribo de los animales la temperatura de la sala previamente calentada se encontraba en 29.7 °C con una humedad relativa de 42.5%

Lechones.

Los cerdos fueron de una línea genética comercial terminal, estos lotes de animales sufrieron una alta mortalidad (52.8%) en el sitio uno, debido a la presencia de diarreas virales, cuando normalmente manejan 7% de mortalidad bajo la madre, los cerdos se destetaron de 21 días de edad y con un peso promedio de 4.59 kg.

Alimentación.

En la granja utilizan alimento de una casa nutricional comercial y su presupuesto fue ajustado según su peso de arribo, iniciando con 1.2 kg de fase 0, 3.8 kg de fase uno, 4 kg de fase dos y 5 kg de fase 3, debido a la afección de los cerdos no terminaron su presupuesto de alimento en las cuatro semanas postdestete.

Manejo de los cerdos.

Los cerdos fueron desembarcados uno a uno de la camioneta a las 10 horas, posteriormente se condujeron a su sala, donde fueron separados por talla y

asignados a un corral como se hace de manera rutinaria en la granja, posteriormente fueron pesados de manera individual.

4.3 Diseño de estudio

El presente estudio se llevó a cabo en el periodo del 26 de enero al 22 de febrero del 2016 en una caseta de ambiente controlado de forma manual, con un total de 153 lechones, donde se instaló un medidor de gases; X-AM 5000 marca Dräger con una capacidad de medición de 3 gases simultáneos con resolución de 1 ppm por cada gas en un periodo de tiempo de 10 minutos para cada medición, la capacidad de medición del amoniaco va de 0-300 ppm, sulfuro de hidrógeno de 0-200 ppm y del monóxido de carbono de 0-2000 ppm, con una autonomía de medición de hasta 7 días. El equipo se instaló a una altura de 0.8 m sobre el nivel del piso en una línea paralela a la línea media de la sala por encima de los corrales, donde también se colocó un medidor de temperatura y humedad RTH10 marca Extech con una capacidad de medición para la humedad relativa de 0-100% y para la temperatura de -40 a 70°C con una medición cada 30 minutos y una autonomía de hasta 80 días.

El periodo de medición se realizó las primeras cuatro semanas postdestete, cada 4 días se desinstaló el medidor y se cambió por uno con pila cargada en la misma posición, diariamente se supervisaba el correcto funcionamiento de los equipos.

4.4 Recopilación de la información

Se descargó la información mediante el uso de un software del equipo cada 4 días, en formato de Excel®, donde se almaceno la información por fecha y hora, los medidores de temperatura se retiraron al término de las cuatro semanas se descargó la información en formato de Excel® y se ordeno por fecha y hora.

4.5 Análisis de información

La información de los medidores de gases se ordenó en Excel® se agrupo por fechas y horas en una secuencia de diez minutos, para descargarla al programa

estadístico IBM SPSS Statistics 22.0 donde se analizó de manera descriptiva general, por hora, semana y día y noche para comparar diferencias entre horarios, mediante ANOVA de un factor y comparaciones múltiples Duncan.

La información de los medidores de temperatura y humedad relativa se ordenó Excel® por fecha y hora, posteriormente se descargó en el programa IBM SPSS Statistics 22.0 donde se analizó de manera descriptiva.

Se buscaron correlaciones entre las variables amoníaco, sulfuro de hidrogeno, monóxido de carbono, temperatura y humedad relativa, así como sus combinaciones, analizando entre horarios por periodos de una hora, mediante análisis de correlaciones de muestras emparejadas y tablas de ANOVA entre grupos y dentro de grupos con el programa IBM SPSS Statistics 22.0

V. Resultados y discusión

5.2 Resultados temperatura y humedad relativa

Para la evaluación de temperatura se puede observar en el Cuadro 2, se obtuvieron 1,354 mediciones en los 28 días que duró la evaluación, con un promedio de temperatura de 28.36°C, con una mínima de 18.8°C a las 18:37 horas del cuarto día de estancia, una temperatura máxima registrada de 40.7°C a las 21:07 horas del primer día de estancia, la diferencia diaria promedio entre la máxima y la mínima o rango fue de 7.6°C, el rango máximo registrado por día de 12.5°C y un rango mínimo por día de 4.5 °C, en el manual de PIC (2013) y en la práctica se recomienda una temperatura de 28°C. La primera semana de edad disminuyendo paulatinamente para llegar a los 24-25°C a final de la cuarta semana, con una variación de no más de 3°C por día, en la Figura 8 se puede observar que no se cumple con esta recomendación, ya que a la cuarta semana se tiene una temperatura promedio de 27°C.

Para la medición de humedad relativa se realizaron 1,354 mediciones con un promedio de 36.7%, un máximo de 55.1% y una humedad mínima de 11.3% con una diferencia al día promedio de 27.3%, con un rango mínimo por día de 13.5% y un máximo de hasta 40.7%, la humedad relativa obtenida fue menor a la recomendada de 65% (PIC, 2013). El comportamiento diario de temperatura y humedad relativa se muestra en la figura 9, como se puede observar no se da dentro de los parámetros óptimos recomendados por Quiles (2006), que sugiere se mantengan en un rango de 55-80%, debido a que valores por debajo pueden provocar un ambiente excesivamente seco, aumento en la concentración de polvo y alteraciones respiratorias, por lo que los problemas respiratorios infecciosos presentes se agravan, el parámetro obtenido en la sala fue inferior a este rango incluso el valor máximo apenas corresponde al rango mínimo deseado, niveles más altos de humedad favorecen el crecimiento de hongos.

Cuadro 2. Resultados temperatura y humedad relativa.

	N	Rango	Mínimo	Máximo	Media	Desviación estándar	Varianza
Temperatura, °C	1354	21.9	18.8	40.7	28.3694	2.4100	5.8080
HR, %	1354	43.8	11.3	55.1	36.6612	9.1019	82.8450

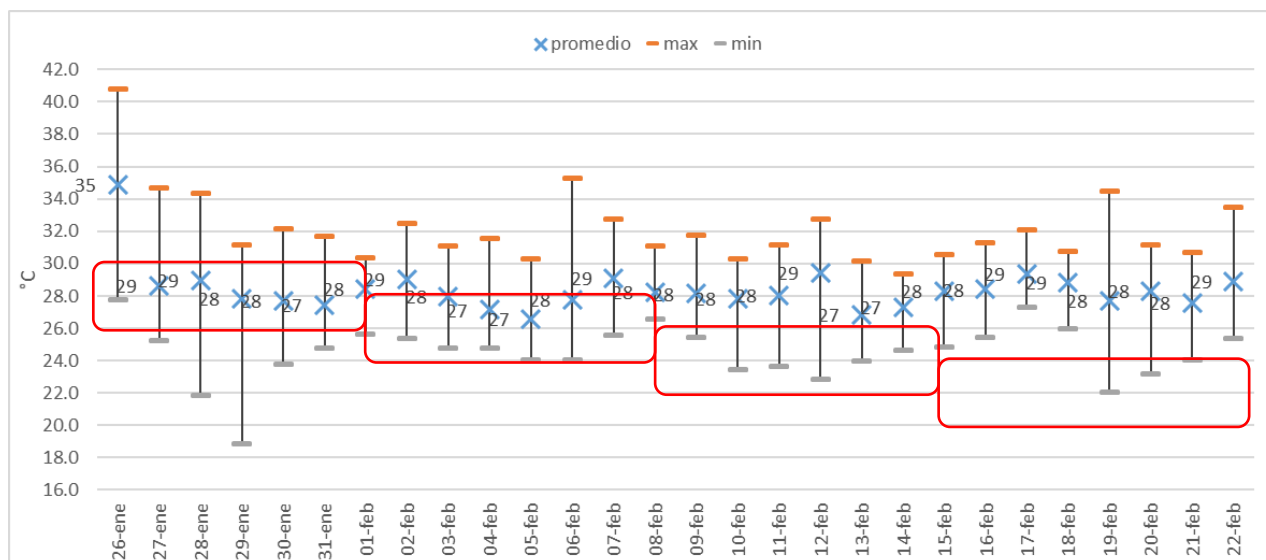


Figura 8. Comportamiento diario de temperatura dentro de la sala.

Le Dividich, (1981) realizó un estudio sobre el efecto de la temperatura del medio ambiente en la tasa de crecimiento de lechones de 21 días durante las primeras seis semanas de estancia en destete, realizó 3 experimentos en ambiente controlado bajo las mismas condiciones y dieta, el objetivo fue encontrar la temperatura optima de crecimiento y si existe un efecto de la variación de la temperatura sobre el crecimiento de los lechones. En el primer experimento utilizó dos tratamientos, ambos con una temperatura de recepción de 28°C, el primero disminuyó gradualmente 2°C semanales hasta llegar a los 20°C, el segundo disminuye a 26°C la segunda semana y se mantuvo esta temperatura por las siguientes 5 semanas. El autor no encontró diferencias significativas en cuanto a GDP, CDA y CA, el segundo experimento utilizaron cuatro tratamientos y se resume en el cuadro 3 adaptado del texto.

Cuadro 3. Efectos de temperatura en rendimiento de lechones

Tratamiento	1	2	3	4
Temp °C Inicial	20	24	28	32
Temp °C Final	20	20	20	20
GDP	337 ^a	384 ^b	413 ^b	396 ^b
CDA	570 ^a	598 ^a	620 ^a	593 ^a
CA	1.70 ^a	1.56 ^b	1.5 ^b	1.49 ^b

Fuente: Adaptado de Le Dividich, (1981).

Como se puede observar la menor ganancia fue obtenida con una baja temperatura sostenida, aunque en las demás no existe una diferencia significativa estaría seguido por una temperatura de recepción de 24°C, de 32°C, la mejor ganancia se obtuvo en el tercer tratamiento donde decrece 2°C semanales.

En la Figura 8 se aprecia el comportamiento de la temperatura en el tiempo, viendo que no cumple con esta premisa y se mantiene sobre los 28°C durante las cuatro semanas, sin embargo, para mantener la sala a alta temperatura es necesario tener los sistemas de calefacción encendidos lo además de la producción de CO implica un gasto energético y por lo tanto un aumento en el costo y no se tienen una mejora asociada a esto.

El tercer experimento Le Dividich, (1981) realizó dos tratamientos el primero con una temperatura constante 23°C +/- 0.5°C y el segundo con variación de temperatura de 3°C en periodos de 20 minutos, se observó una mejor GDP con una temperatura constante en las primeras cuatro semanas, mejor CDA en la semana 3-4 y mejor CA durante las 6 semanas, el manejo de fluctuación de temperatura diario de la sala fue de 7.6°C, mayor al del experimento por lo que se podría asociar con un bajo consumo de alimento y bajas ganancias de peso.

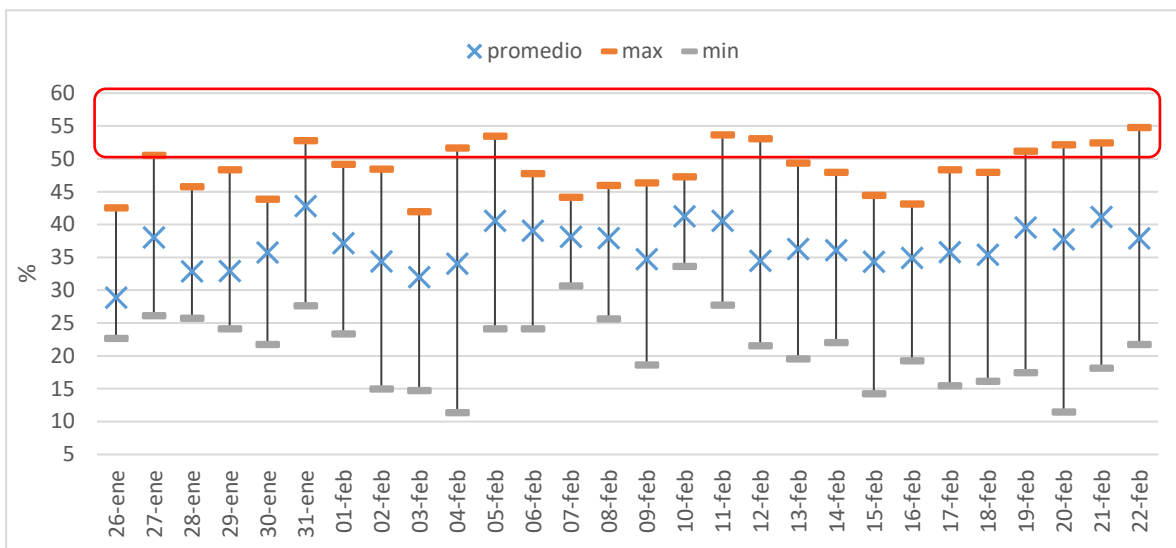


Figura 9. Comportamiento diario de la humedad relativa dentro de la sala.

Le Dividich et al., (1994), mencionó que ha sido un tema al que se le ha puesto muy poca atención, sin embargo, se observó que con la disminución de la humedad relativa a niveles de 50% en conjunto con temperaturas sobre los 5°C disminuye la producción de calor corporal, comparando con niveles de 90% de humedad, al igual que en temperaturas superiores a los 30°C, entre los 10-30°C no observo diferencias.

En otros estudios han observado que a temperaturas de 28°C con humedad por encima de 90% pueden reducir la GDP en un 8% (Le Dividich y Herpin, 1994), como se puede observar en la Figura 9 no se encontró humedad por encima de 55% durante esas cuatro semanas para entrar en un rango aceptable de 55-80%, sin embargo, otros autores lo consideran de suma importancia para el bienestar animal, sobre todo en altas temperaturas ambientales, debido a que el animal basa en gran medida la pérdida de calor a través de evaporación de agua. Está demostrado que a medida que aumenta la humedad de 0-30 y 30-90% a una temperatura de 30°C aumenta el doble la tasa de respiración y la evaporación mediante la piel, sin embargo, esto no es tomado en cuenta en zonas donde predominan altas temperaturas.

Close (1987), demostró que no hay ningún efecto con una humedad de 0-45 y 0-95 a una temperatura estable de 22°C, sin embargo, bajo el mismo escenario de humedad y un alza en la temperatura a 30°C hubo una baja de consumo. En el estudio actual existió una baja humedad relativa y niveles de temperatura mantenidos por debajo de los 30°C, la humedad relativa promedio en el medio ambiente para el periodo de tiempo de la medición fue de 48.3 %, la temperatura externa de la sala fue promedio fue de 12.1°C según registros de INIFAP (2017), por lo que para aumentar la temperatura dentro de la sala a los 28.4°C fue necesario el uso de calentadores a gas mismos que provocan un descenso de la HR dentro de la sala en comparación con la exterior.

5.2 Resultados medición de gases

5.2.1 Amoníaco

Se obtuvieron 4,641 mediciones para el amoníaco, con un promedio de 0.825 ppm (Cuadro 4), es común encontrar el amoníaco en espacios abiertos en una concentración de 0.0006 ppm (ATSDR, 2004), la *International Commission of Agricultural and Biosystems Engineering* (CIGR, 1984), recomienda no sobrepasar las 20 ppm en instalaciones de cerdo.

Cuadro 4. Estadísticos descriptivos de amoníaco dentro de la sala

N	Válido	4641.0
	Perdidos	0.0
Media		.8253
Error estándar de la media		.11073
Mediana		0.00
Moda		0.00
Desviación estándar		7.54320
Varianza		56.900
Curtosis		303.595
Rango		165.00
Mínimo		0.00
Máximo		165.00

Drummond *et al.*, (1980), estudiaron los efectos de concentraciones graduales de amoníaco en cerdos de 8.4 kg, asignaron seis cerdos en cuatro cámaras con concentraciones de 0, 50, 100 y 150 ppm durante cuatro semanas de manera continua, con una temperatura de 24°C, se observó una disminución del crecimiento de los cerdos en 12, 30, 29% respectivamente para cada concentración, además se observó una reacción inflamatoria aguda y exudado leve en los cerdos expuestos a 100 y 150 ppm, no así para el grupo control y 50 ppm. La concentración obtenida en este estudio fue por debajo de los 50 ppm, sin embargo, tenemos picos de hasta 165 ppm como se observa en el Cuadro 4. En el cuadro 5 se observa que la mayor concentración promedio fue de 14 ppm a las 15 h.

Cuadro 5. Análisis de concentración de amoníaco por hora

Hora, 24 hrs	N	Media	Desviación estándar	Error estándar	95% del intervalo de confianza para la			
					Límite inferior	Límite superior	Mínimo	Máximo
0	193.0	0.197	0.953	0.069	0.062	0.332	0.00	5.00
1	261.0	0.188	0.944	0.058	0.073	0.303	0.00	5.00
2	276.0	0.174	0.902	0.054	0.067	0.281	0.00	5.00
3	239.0	0.167	0.915	0.059	0.051	0.284	0.00	7.00
4	206.0	0.330	1.245	0.087	0.159	0.501	0.00	7.00
5	261.0	0.169	0.913	0.056	0.057	0.280	0.00	7.00
6	200.0	0.280	1.122	0.079	0.124	0.436	0.00	6.00
7	174.0	0.282	1.186	0.090	0.104	0.459	0.00	8.00
8	168.0	0.101	0.755	0.058	-0.014	0.216	0.00	6.00
9	163.0	0.331	1.247	0.098	0.138	0.524	0.00	6.00
10	170.0	0.653	2.039	0.156	0.344	0.962	0.00	14.00
11	177.0	0.424	1.674	0.126	0.175	0.672	0.00	11.00
12	170.0	0.182	0.989	0.076	0.033	0.332	0.00	7.00
13	167.0	0.102	0.655	0.051	0.002	0.202	0.00	5.00
14	168.0	0.155	1.009	0.078	0.001	0.308	0.00	8.00
15	210.0	14.029	32.521	2.244	9.605	18.453	0.00	165.00
16	168.0	0.036	0.463	0.036	-0.035	0.106	0.00	6.00
17	168.0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.00	0.00
18	168.0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.00	0.00
19	168.0	0.077	0.579	0.045	-0.011	0.166	0.00	5.00
20	178.0	0.067	0.516	0.039	-0.009	0.144	0.00	4.00
21	190.0	0.200	0.961	0.070	0.063	0.338	0.00	5.00
22	213.0	0.197	0.946	0.065	0.069	0.325	0.00	5.00
23	185.0	0.270	1.143	0.084	0.104	0.436	0.00	6.00
Total	4641.0	0.825	7.543	0.111	0.608	1.042	0.00	165.0

No se encontraron diferencias significativas entre horarios con excepción de las 15:00 h con una $P < 0.05$ (cuadro 5). Philippe *et al.*, (2011) mencionan que la temperatura está directamente relacionada con la emisión de amoníaco, a mayor temperatura aumenta la producción de amoníaco, la mayor producción del gas se obtuvo a las 14 h. El periodo de mayor temperatura comprende entre las 12-15 h, sin embargo, el horario de 14 h presenta bajas concentraciones del gas. Aarnink *et al.*, (1996) midieron la relación entre la emisión de amoníaco con los horarios, encontrando que los cerdos orinan con mayor frecuencia entre las 15 y 18 h lo que aumenta la concentración del gas en el medio ambiente en dicho horario (Cuadro 5).

Drummond *et al.*, (1981), realizaron un estudio en cerdos de 8 kg con cuatro tratamientos, en el primero inocularon *Bordetella*, en el segundo inocularon *Bordetella* más la exposición al amoníaco a 50 ppm, en el tercero inocularon *Bordetella* más exposición al amoníaco 100 ppm y cuarto como grupo control, el resultado fue el decrecimiento en la ganancia de peso en los cerdos con *Bordetella* Vs el grupo control en un 26% independientemente de la concentración de amoníaco, los cerdos en un ambiente con amoníaco presentaron rinitis, relacionada con él gas, National Pork Board (2003), sugiere no sobrepasar las 50 ppm dentro de las salas, Renggaman *et al.*, (2015), en su protocolo para evaluar el bienestar porcino, toma en cuenta dentro de su puntuación la concentración de amoníaco dentro de las salas y la dividen en menos de 50ppm y por encima de, además realizaron una investigación donde determinaron la concentración de amoníaco dentro de dos salas donde encontraron concentraciones de amoníaco de 2.83 y 6.35 ppm considerándolo como una adecuada ventilación, Philippe *et al.*, (2011), señalan que a partir de la firma de 51 países en la convención de la contaminación transfronteriza de largo alcance Griffing *et al.*, (2007), Europa logro disminuir la producción de amoníaco en un 24% de 1990 a 2008 aun cuando su producción aumentó en 19%, ellos relacionan esta disminución, a dietas más mejor balanceadas en cuanto al contenido de proteína cruda, la suplementación con sales acidificantes, el uso de otros aditivos como extracto de yuca, zeolitas, probióticos, sustancia húmica o lactosa lo que conlleva también a una mayor eficiencia de la

alimentación, esto se puede observar en el Cuadro 6, donde a medida que transcurren las semanas la concentración de amoníaco aumenta la cual es proporcionalmente inversa con la eficiencia alimenticia, la cuarta semana presento el mayor promedio con una diferencia significativa.

Koerkamp *et al.*, (1998), realizaron un estudio para conocer las concentraciones de amoníaco en cuatro países en el norte de Europa en cerdos de destete encontrando concentraciones promedios que oscilaron entre las 3.7 y 7.8 ppm con una lectura máxima en Inglaterra de 36.7 ppm, con un coeficiente de variación del 27.5%, en las lecturas en este estudio se observó un promedio de 0.82 ppm y una lectura máxima de 165 ppm (ver Cuadro 6), incluso en la cuarta semana donde se obtuvo un promedio de 2.14 ppm estuvo por debajo de lo observado por Koerkamp.

Burton y Beauchamp (1986), realizaron un estudio para medir las emisiones mensuales de amoníaco donde estimaron la producción de NH_3 en las heces en dos diferentes granjas con sistema *slat*, encontraron que los meses donde existe mayor emisión de gas comprendían entre julio y septiembre y los de menor producción enero y febrero que son los meses más fríos, el autor atribuye este comportamiento debido a que hay una menor tasa de ventilación dentro de la sala, buscando la menor pérdida de calor dentro de la sala, esto aumenta la concentración del gas en la atmosfera por lo que el amoníaco existente en heces sería menor dado que se está volatilizando, en las mediciones que se realizaron no se encontraron altas concentraciones del gas en el medio ambiente, la cantidad de producción de amoníaco en parte depende de la cantidad de la proteína en la dieta y la digestibilidad de la misma, dietas muy eficientes tienden a reducir las emisiones (Widney *et al.*, 2012).

Cuadro 6. Concentraciones semanales de NH₃

NH ₃	N	Media	Desviación estándar	Error estándar	95% del intervalo de confianza para la media		Mínimo	Máximo
					Límite inferior	Límite superior		
Semana 1	1002	0.3353	1.2727	0.0402	0.2564	0.4142	0.00	14.00
Semana 2	1013	0.0424	0.5491	0.0173	0.0086	0.0763	0.00	11.00
Semana 3	1056	0.0833	0.6594	0.0203	0.0435	0.1231	0.00	10.00
Semana 4	1570	2.1420	12.8100	0.3233	1.5079	2.7762	0.00	165.00
Total	4641	0.8253	7.5432	0.1107	0.6082	1.0423	0.00	165.00
Modelo	Efectos fijos		7.4859	0.1099	0.6098	1.0407		
	Efectos aleatorios			0.5616	-0.9620	2.6125		

Philippe *et al.*, (2011) y Aarnink *et al.*, (1996) encontraron diferencias en la concentración de amoníaco durante el día y noche, en una proporción de 1.2-2. En este estudio se encontró una proporción 7-1 (Cuadro 7).

Delcourt *et al.*, (2001), observó una correlación positiva entre la concentración de amoníaco y la actividad de los animales, misma que es más alta en el periodo diurno, de la misma manera (de Sousa, y Pedersen, 2004), encontraron una diferencia del 7% en las emisiones diurnas, en el presente estudio se encontró un diferencial del 87%. En el mismo trabajo relacionan la actividad del cerdo con la producción de dióxido de carbono y a su vez con la concentración de amoníaco, encontrando un pico en la producción de ambos gases a las 16 h.

Blanes-Vidal *et al.*, (2008) realizó un estudio similar donde correlaciono la actividad de los animales con la producción de amoníaco encontrando dos picos a las 10 y 15 h. En el cuadro 5 podemos ver que en el presente estudio la mayor producción de gas se da a las 15h.

Cuadro 7. Concentración de amoníaco día y noche

	N	Media	Desviación estándar	Error estándar	95% del intervalo de confianza para la media		Mínimo	Máximo
					Límite inferior	Límite superior		
Día	2065.0	1.5961	11.2082	0.2467	1.1124	2.0798	0.00	165.00
Noche	2576.0	0.2073	0.9891	0.0195	0.1691	0.2455	0.00	8.00
Total	4641.0	0.8253	7.5432	0.1107	0.6082	1.0423	0.00	165.00

El amoníaco puede llegar a ser fatal en humanos pero en dosis de 5,000 ppm en tan solo 30 min, pero puede causar daño a la salud desde las 50 ppm irritando los ojos y las vías respiratorias en tan solo 5 min, 50 ppm es la concentración máxima recomendada para el bienestar animal en los cerdos aunque existen reportes que a bajas concentraciones de 10 ppm pero por periodos prolongados de tiempo, más de una semana puede decrecer su crecimiento, irritar las mucosas nasales y aumentar la frecuencia de tos, a 50 ppm puede reducir la ganancia de peso hasta en un 18.6 % (ATSDR, 2004).

5.2.2 Sulfuro de hidrógeno

Se realizaron 4,641 mediciones para el sulfuro de hidrógeno, con un promedio de 0.024 ppm dentro de la sala (Cuadro 8), existen reportes donde se ha encontrado el gas en el medio ambiente en un rango de 0.0005-0.03 ppm (EPA, 2014). CIGR (1984) establece un límite de 0.5 ppm para cerdos con periodos intermitentes máximos de 5 ppm. Curtis *et al.*, (1977), determinan que concentraciones por debajo del 10 ppm no tienen efecto en los cerdos, sin embargo el rango recomendado en humanos por *The National Institute For Occupational Safety and Health* (NIOSH, 1977) es de 10 ppm en un periodo de 10 minutos, 100 ppm inmediatamente ponen en riesgo la vida, OSHA (2013) establece un límite de 20 ppm en 10 minutos; ATSDR (2016) reporta que la concentración de sulfuro de hidrógeno puede llegar a ser un problema en comunidades ubicadas cerca de ciertos tipos de sitios industriales, incluyendo plantas de celulosa y papel,

producción de gas natural, criaderos de cerdos, plantas de manejo de estiércol, o plantas de energía geotérmica.

La concentración promedio alcanzada dentro de la sala no supera los límites permitidos por las normas, incluso son mediciones dentro de los rangos que normalmente se puede encontrar en el medio ambiente. Korea restringe en las instalaciones de ganado, incluidos cerdos, niveles máximos de 1 ppm para amoníaco y 0.02 ppm para sulfuro de hidrógeno, basado en mandato para disminuir las emisiones de olores (KME, 2004). En el presente trabajo solamente en el horario de las 15 h supera lo recomendado por Korea (ver Cuadro 9).

Cuadro 8. Estadísticos descriptivos sulfuro de hidrógeno

N	Válido	4641.0
	Perdidos	0.0
Media		.0248
Error estándar de la media		.00408
Mediana		0.0000
Moda		0.00
Desviación estándar		.27783
Varianza		.077
Curtosis		241.414
Rango		7.00
Mínimo		0.00
Máximo		7.00

Curtis *et al.*, (1975), expusieron cerdos de 13 kg por 17 días a sulfuro de hidrógeno a 8.5 ppm comparando Vs control sin la presencia del gas, bajo estas condiciones no encontraron diferencia significativa en la ganancia de peso, ellos concluyen que la presencia del gas en animales sanos a esa concentración no afecta negativamente la ganancia de peso.

Una revisión bibliográfica en tres diferentes países obtuvo un promedio de 0.226 +/- 0.0065 ppm (Kim *et al.*, 2008), en el estudio que realizaron midieron la concentración de sulfuro de hidrógeno en tres instalaciones diferentes; sistema de

cama profunda, piso de concreto y *slat* en este último hicieron una comparación entre ventilación manual y automática, el promedio de las tres instalaciones fue de 0.286 ppm encontrando diferencias significativas entre *slat* Vs los otros dos sistemas, en el sistema de *slat* también encontraron diferencias significativas para ventilación manual y automática, esta última fue de 0.612 y 0.296 ppm para ventilación manual, ambas mediciones son más altas que las encontradas en este estudio, no esperaríamos una baja ganancia de peso en los animales del estudio, sin embargo, la ventilación fue de manera manual por lo que podría ser menor la concentración si esta fuera automática.

Sun *et al.*, (2008) midieron la concentración de H₂S en un estudio en Canadá en tres meses diferentes, el promedio las mediciones oscilaron entre 0.09 y 0.615 ppm, en los meses fríos aumentaba la concentración del gas en la sala debido a una menor tasa de ventilación buscando guardar el calor.

Cuadro 9. Análisis concentración de H₂S por hora

Hora, 24 hrs	N	Media	Desviación estándar	Error estándar	95% del intervalo de confianza para la media			
					Límite inferior	Límite superior	Mínimo	Máximo
0	193	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.00	0.00
1	261	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.00	0.00
2	276	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.00	0.00
3	239	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.00	0.00
4	206	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.00	0.00
5	261	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.00	0.00
6	200	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.00	0.00
7	174	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.00	0.00
8	168	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.00	0.00
9	163	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.00	0.00
10	170	0.0412	0.5369	0.0412	-0.0401	0.1225	0.00	7.00
11	177	0.0113	0.1503	0.0113	-0.0110	0.0336	0.00	2.00
12	170	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.00	0.00
13	167	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.00	0.00
14	168	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.00	0.00
15	210	0.5048	1.1035	0.0762	0.3546	0.6549	0.00	5.00
16	168	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.00	0.00
17	168	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.00	0.00
18	168	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.00	0.00
19	168	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.00	0.00
20	178	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.00	0.00
21	190	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.00	0.00
22	213	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.00	0.00
23	185	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.00	0.00
Total	4641	0.0248	0.2778	0.0041	0.0168	0.0328	0.00	7.00

No existen diferencias significativas entre horarios con excepción de las 15:00 h con una $P < 0.05$

Ni *et al.* (2002) realizaron un estudio donde midió 219 días las concentraciones de sulfuro de hidrógeno en dos salas de ambiente controlado en cerdos de engorda, obteniendo un promedio de H₂S de 0.180 y 0.232 ppm para cada sala, encontrando que las mediciones más altas fueron registradas entre 03 y 06 h y las más bajas entre las 12-18 h, contrario a lo que se puede observar en el Cuadro 9 donde la concentración mayor se registró a las 15h, ellos asocian este comportamiento a la tasa de ventilación en la sala, las bacterias reductoras de

sulfatos que habitan en la flora normal del colon reducen el sulfuro dietético de la mucina y aminoácidos azufrados así como la metionina, taurina, cistina y cisteína dando como resultado la formación de sulfuro de hidrógeno, de la misma manera, se correlaciona con la cantidad de proteína en la dieta y la digestibilidad de la misma (Attene-Ramos *et al.*, 2006), similar al comportamiento del amoníaco, el sulfuro de hidrógeno se observó una diferencia significativa en la cuarta semana en el presente experimento (ver Cuadro 10).

Cuadro 10. Diferencias de concentración de H₂S semanal

H ₂ S	N	Media	Desviación estándar	Error estándar	95% del intervalo de confianza para la media		Mínimo	Máximo
					Límite inferior	Límite superior		
Semana 1	1002.0	0.0070	0.2211	0.0070	-0.0067	0.0207	0.00	7.00
Semana 2	1013.0	0.0020	0.0628	0.0020	-0.0019	0.0058	0.00	2.00
Semana 3	1056.0	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.00	0.00
Semana 4	1570.0	0.0675	0.4379	0.0111	0.0458	0.0892	0.00	5.00
Total	4641.0	0.0248	0.2778	0.0041	0.0168	0.0328	0.00	7.00

5.2.3 Monóxido de carbono

Se realizaron 4,641 mediciones para el monóxido de carbono, con un promedio de 82.51 ppm, un máximo de 370 ppm y un mínimo de 0 ppm (ver Cuadro 11), Bjarne (2005), no lo considera un problema en la producción porcina, debido a que es emitido por los cerdos en bajas concentraciones, este gas también es producido como resultado de una reacción exotérmica, debido a una combustión incompleta del metano (Calventus *et al.*, 2006), que es de la manera más común de mantener la temperatura dentro de una sala, la concentración recomendada para cerdos es de 10 ppm (CGIR, 1984). Bongers *et al.*, (1987), determina que concentraciones de 150 ppm disminuyen el crecimiento de los lechones y entre 200-250 ppm se observan menos vigorosos.

En Mexico existe una norma para humanos; NOM-021-SSA1-1993 que recomienda no sobrepasar las 11 ppm en periodos de 8 horas, debido a que existe un efecto dañino potencial, por su afinidad para combinarse con la hemoglobina dando lugar a una elevada formación de carboxihemoglobina, como consecuencia, disminuye la cantidad de oxihemoglobina y por ende la entrega de oxígeno a los tejidos.

Cuadro 11. Estadísticos descriptivos monóxido de carbono

N	Válido	4641.0
	Perdidos	0.0
Media		82.5120
Error estándar de la media		1.03079
Mediana		68.0000
Moda		0.00
Desviación estándar		70.22227
Error estándar de asimetría		.036
Curtosis		-.252
Rango		370.00
Mínimo		0.00
Máximo		370.00

Morris *et al.*, (1985), realizaron una investigación en cerdos recién destetados de 28 días de edad que fueron expuestos al monóxido de carbono a 200 y 300 ppm por 21 días, se tomaron muestras de sangre para determinar la concentración del gas en la sangre, concluyeron que a esas concentraciones no se ve afectado el comportamiento de los animales y que los cerdos tienen la capacidad de compensar la concentración de carboxihemoglobina en sangre aumentando el total de hemoglobina, sin embargo se observó una reducción del 31% en la ganancia de peso en cerdos expuestos a 300 ppm y una reducción en la eficiencia alimenticia del 20%, cuando la concentración es menor a 200 ppm no se observó diferencia en la ganancia de peso y eficiencia alimenticia, la concentración máxima en el presente estudio fue de 370 ppm aunque no fue registrada por periodos largos de tiempo, sin

embargo, en el periodo de noche se logro una concentración promedio de 117 ppm (ver Cuadro 12), durante la cuarta semana de estancia se obtuvo un promedio de 130 ppm (Cuadro 13), por lo que no debería haber cambios de conducta o hábitos.

Cuadro 12. Concentración monóxido de carbono día y noche

	N	Media	Desviación estándar	Error estándar	95% del intervalo de confianza para la media		Mínimo	Máximo
					Límite inferior	Límite superior		
Día	2065	39.0160	43.8973	0.9660	37.1215	40.9104	0.00	370.00
Noche	2576	117.3797	67.8799	1.3374	114.7571	120.0022	0.00	260.00
Total	4641	82.5120	70.2223	1.0308	80.4911	84.5328	0.00	370.00

Cuadro 13. Concentración semanal de monóxido de carbono

CO	N	Media	Desviación estándar	Error estándar	95% del intervalo de confianza para la media		Mínimo	Máximo	
					Límite inferior	Límite superior			
Semana 1	1002	37.1477	23.9489	0.7566	35.6630	38.6324	0.00	120.00	
Semana 2	1013	56.8095	39.2106	1.2320	54.3920	59.2270	0.00	166.00	
Semana 3	1056	79.2727	51.3987	1.5817	76.1691	82.3763	0.00	214.00	
Semana 4	1570	130.2268	86.1569	2.1744	125.9617	134.4918	0.00	370.00	
Total	4641	82.5120	70.2223	1.0308	80.4911	84.5328	0.00	370.00	
Modelo	Efectos fijos			59.7671	0.8773	80.7920	84.2319		
	Efectos aleatorios				21.8938	12.8362	152.1877		

Koob *et al.*, (1974) realizaron un estudio en ratas que fueron expuestas a niveles bajos de oxígeno; 16, 14 y 10% con niveles altos de monóxido de carbono; 200, 500 y 1000 ppm respectivamente durante 24 horas más un grupo control determinado que el consumo de agua y alimento es inverso de manera directa con la exposición al monóxido en comparación con el grupo control donde tuvieron mejores consumos, por lo que se pueden esperar bajos consumos en los lechones asociados a la concentración del gas en las salas, en condiciones de granja no hay manera de medir el monóxido debido al desconocimiento y poca difusión de la información, son comunes los bajos consumos en las primeras dos semanas de estancia, aunque esto puede ser multifactorial la concentración del gas no está entre

las causas comunes de bajos consumos y no hay manera de conocerlo sin equipo especializado.

Preziosi *et al.*, (1970), realizaron un estudio en perros criollos durante seis semanas, cuatro tratamientos con concentraciones de monóxido de carbono; 50 ppm de manera continua, 50 ppm intermitentes, 100 ppm continuos y 100 ppm intermitente, los periodos intermitentes eran de 6 horas al día durante 5 días a la semana, los periodos continuos de 8 horas los 7 días de la semana, durante el estudio se realizaron electrocardiogramas, al término de la evaluación fueron eutanasiados y evaluaron morfología de cerebro y corazón, los resultados demostraron que para los perros con 50 ppm de manera intermitente; el 14% de los animales presentaron patologías en cerebro, 43 % en corazón y 71 % con un electrocardiograma anormal, los perros con 50 ppm continuas presentaron; patologías cerebro 63%, corazón 50 %, electrocardiograma 63%, los perros con 100 ppm intermitente 75%, 75% y 100 %, los de 100 ppm continua 75%, 50% y 100%, las concentraciones de carboxihemoglobina en sangre para los perros de 50 ppm continuas variaron entre 3.4-5.4% mientras que en los de 100 ppm continuas fueron entre 7.7-12%, a pesar de los cambios fisiológicos y morfológicos no observaron cambios de conducta como lo menciona Koob *et al.*, (1974), si bien los resultados no se pueden transpolar a cerdos o humanos, sin embargo, podemos pensar que existe una vulnerabilidad del organismo cuando es sometido al gas.

Por lo anterior los colaboradores pueden encontrarse en riesgo cuando son sometidos al monóxido, dicho riesgo puede ser mayor en personas fumadoras debido a que su nivel de saturación de O₂ es menor, en el Cuadro 14 podemos observar que, en horas laborales, los colaboradores pueden ser sometidos a concentraciones de hasta 74 ppm.

Cuadro 14. Análisis de concentración de CO por hora

Hora, 24 hrs	N	Media	Desviación estándar	Error estándar	95% del intervalo de confianza para la media			
					Límite inferior	Límite superior	Mínimo	Máximo
0	193	110.6736	55.0313	3.9612	102.8604	118.4867	16.00	244.00
1	261	138.5057	68.7369	4.2547	130.1277	146.8838	26.00	244.00
2	276	143.6884	75.4167	4.5396	134.7517	152.6251	12.00	242.00
3	239	127.1799	71.9066	4.6513	118.0170	136.3428	10.00	240.00
4	206	116.0874	73.7641	5.1394	105.9545	126.2202	10.00	260.00
5	261	134.2299	74.7069	4.6242	125.1242	143.3356	14.00	242.00
6	200	105.0000	63.4901	4.4894	96.1470	113.8530	24.00	224.00
7	174	82.0115	45.7632	3.4693	75.1639	88.8591	22.00	214.00
8	168	74.8810	34.0684	2.6284	69.6917	80.0702	26.00	168.00
9	163	69.5460	30.5144	2.3901	64.8263	74.2657	16.00	178.00
10	170	64.0824	34.9426	2.6800	58.7918	69.3729	14.00	174.00
11	177	61.2203	33.6081	2.5261	56.2349	66.2058	0.00	156.00
12	170	46.8118	38.7665	2.9733	40.9423	52.6813	0.00	146.00
13	167	36.0240	38.3327	2.9663	30.1675	41.8804	0.00	138.00
14	168	27.4286	35.9222	2.7715	21.9570	32.9002	0.00	132.00
15	210	24.4762	66.3801	4.5807	15.4460	33.5064	0.00	370.00
16	168	15.1667	29.1832	2.2515	10.7215	19.6118	0.00	140.00
17	168	15.9286	30.6558	2.3652	11.2591	20.5980	0.00	120.00
18	168	15.3095	28.8884	2.2288	10.9093	19.7098	0.00	128.00
19	168	20.2619	32.3814	2.4983	15.3296	25.1942	0.00	116.00
20	178	70.0225	57.7820	4.3309	61.4755	78.5694	0.00	210.00
21	190	116.1053	55.1530	4.0012	108.2125	123.9980	10.00	220.00
22	213	123.9624	59.2185	4.0576	115.9641	131.9608	14.00	214.00
23	185	106.2703	53.4858	3.9324	98.5120	114.0286	10.00	218.00
Total	4641	82.5120	70.2223	1.0308	80.4911	84.5328	0.00	370.00

Goldsmith (1970), determinó que personas no fumadoras pueden alcanzar un promedio de carboxihemoglobina en sangre de 1.2%, mientras que personas que fumaban 10 o menos cigarros al día de 3.8%, los que fuman una cajetilla 5.9% mientras los que fuman hasta dos cajetillas al día 6.8%. Wald *et al.*, (1981) desarrolló una ecuación lineal simple en personas fumadoras y no fumadoras para correlacionar con un 97% el nivel de CO según la concentración de carboxihemoxiglobina en sangre en un rango entre 0-12 % de COHb ó entre 2-65 ppm de CO, $CO (ppm) = (5.09 \cdot COHb) + 2.34$ ó $COHb = (CO_{ppm} - 2.34) / 5.09$, bajo esta

ecuación se realizó un ejercicio para determinar el nivel de carboxihemoglobina en sangre que puede ser alcanzada por colaboradores de la granja según las concentraciones de monóxido obtenidas (Figura10).

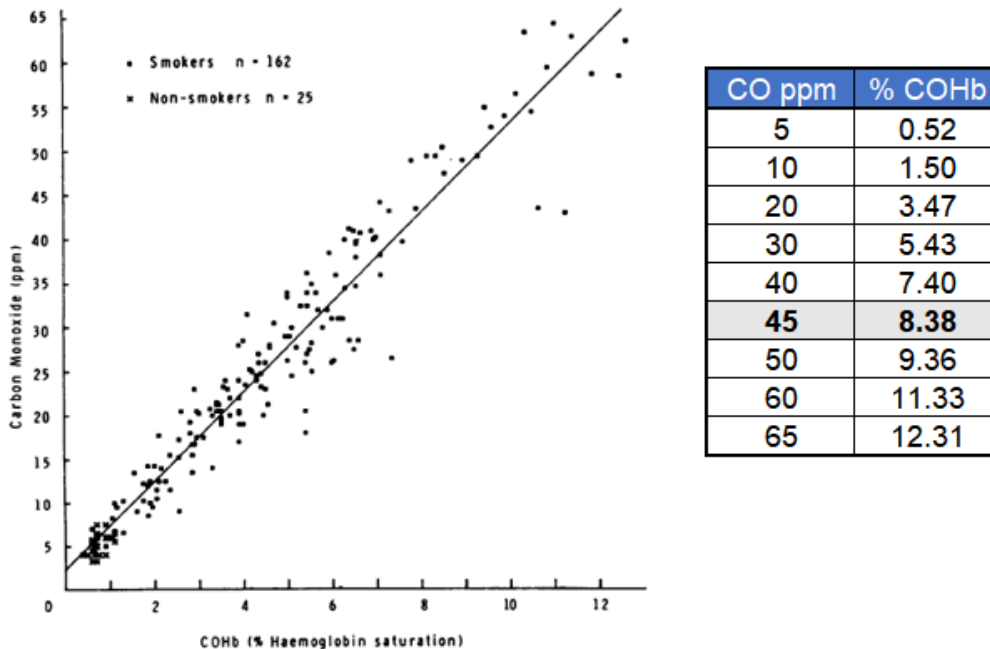


Figura 10. Ecuación de predicción y concentración de %COHb en sangre

Con la ecuación de Wald *et al.*, (1981) se realizó un ejercicio para estimar la concentración en carboxihemoglobina en sangre (Figura 10), el promedio de la concentración media de las horas laborales (8-16 h) fue de las 45 ppm, por lo una persona no fumadora puede alcanzar hasta una saturación de monóxido en sangre de 8.4%, con la concentración de gas inalada, aunque esta ecuación no toma en cuenta el tiempo de exposición.

Stewart, (1975), realizó un estudio del efecto del monóxido en humanos donde toma en cuenta el tiempo de exposición determinando que entre 8 y 15 horas dependiendo del grado de concentración del gas llega a su punto máximo de saturación, determina que concentraciones de 5-9% de COHb en sangre equivalen a fumar 3 cajetillas de cigarrillos al día, esta saturación se alcanza entre 30-45 ppm,

a 80-130 ppm puede causar náuseas y dolor de cabeza, sobre las 200-370 ppm puede llegar a causar la muerte en personas con afecciones cardiacas y concentraciones por encima de las 500 ppm puede llegar a causar coma, convulsiones o muerte.

Los efectos en la salud humana al colaborar con animales confinados fueron descritos por vez primera por Donham *et al.* (1977), presentando causas multifactoriales, gases, polvo, temperatura, humedad y micropartículas como causantes de enfermedades respiratorias, mencionó que para personas fumadoras aumentaba el riesgo de padecerlas, sin embargo también existen maneras de prevenirlas usando una buena ventilación, disminución del polvo, protecciones individuales, capacitación y revisiones periódicas con el medico (Donham, 2010).

5.2.3 Correlaciones entre gases

Bajo las condiciones de este estudio no se encontraron correlaciones entre los gases, la mayor relación se observa entre el amoníaco y el sulfuro de hidrógeno con un 89.9 % (Cuadro 15), sin embargo, es atribuible a las mediciones repetidas en cero para ambos gases.

Cuadro 15. Correlaciones entre gases, NH₃, H₂S y CO

Variables de control		NH3	H2S	CO	
Hora	NH3	Correlación	1.000	0.899	0.067
		Significación (2 colas)	.	0.000	0.000
		gl	0.000	4638.000	4638.000
	H2S	Correlación	0.899	1.000	0.042
		Significación (2 colas)	0.000	.	0.004
		gl	4638.000	0.000	4638.000
	CO	Correlación	0.067	0.042	1.000
		Significación (2 colas)	0.000	0.004	.
		gl	4638.000	4638.000	0.000

5.2.4 Correlaciones gases, temperatura y humedad relativa

No se obtuvieron correlaciones entre el amoníaco y sulfuro de hidrógeno con temperatura o humedad, la relación más alta se encontró para el monóxido de carbono y humedad, 80% (Cuadro 16); por lo que a mayor humedad relativa mayor concentración del gas, sin embargo, es necesario evaluar si esta relación es repetible bajo diferentes escenarios.

Cuadro 16. Correlación temperatura, humedad relativa y NH₃, H₂S y CO

Correlaciones de muestras emparejadas				
Variables de control		N	Correlación	Sig.
Par 1	Temperatura & Humedad	24	-0.0560	0.7940
Par 2	CO & Temperatura	24	0.2240	0.2930
Par 3	Humedad & CO	24	0.8050	0.0000
Par 4	Temperatura & H ₂ S	24	0.1210	0.5730
Par 5	Humedad & H ₂ S	24	-0.3770	0.0690
Par 6	Humedad & NH ₃	24	-0.3600	0.0840
Par 7	Temperatura & NH ₃	24	0.1250	0.5610

VI. Conclusión

La concentración de NH_3 y H_2S registrados se encontraron por debajo de los parámetros establecidos, ambos gases son producidos por los animales y en el medio ambiente, relacionados a la dieta, la cantidad proteína y la digestibilidad en la misma, los alimentos preiniciadores, que son alimentos altamente digestibles, sin embargo, el monóxido de carbono se encontró por encima del máximo permitido para los cerdos, puede estar relacionado con bajos consumos y bajas ganancias de peso incluso con patologías asociadas a corazón y cerebro.

Existe la presencia de los tres gases, sin embargo, no se observó correlación entre ellos, pero si se observó una correlación alta para la humedad relativa y la concentración de monóxido de carbono, sin embargo, es necesario ver si dicha correlación es repetible bajo diferentes escenarios, como en salas automatizadas o con otro sistema de calefacción de combustión.

Implicaciones:

Existe un riesgo potencial para los colaboradores en granjas que utilizan el gas metano en el sistema de calefacción para alcanzar las temperaturas recomendadas, sobre todo en producciones con un mal o nulo programa de mantenimiento del sistema de calefacción, existe una falta de seguimiento al manejo de temperatura dentro de las salas lo que aumenta la concentración del gas, el promedio del monóxido de carbono en estas cuatro semanas, supero 7 veces el especificado en la norma NOM-021-SSA1-1993 que recomienda no sobrepasar de 11 ppm en 8 horas, si bien es raro que los colaboradores permanezcan las 8 horas dentro de la misma sala, si son sometidos de manera intermitentemente a la inhalación del gas, pudiendo alcanzar altas concentraciones de carboxihemoglobina en sangre, aumentando el riesgo en personas con afecciones cardiacas, o como un factor predisponente para presentar afecciones respiratorias.

La importancia de contar con registros de temperatura y humedad dentro de las producciones y analizarlas es evidente, así como un programa de mantenimiento preventivo del sistema de calefacción, es común confundir ventilación con bajar la temperatura de la sala, creo que es el factor más importante para mantener cerradas las salas o con baja tasa de ventilación, es de suma importancia realizar programas de capacitación y difusión de la información.

VII. Literatura citada

- Aarnink, A. J. A., Van den Berg, A. J., Keen, A., Hoeksma, P., Verstegen, M. W. A. 1996. Effect of slatted floor area on ammonia emission and on the excretory and lying behaviour of growing pigs. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 64(4), 299-310.
- Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR). 2004. Toxicological profile for ammonia. Recuperado a partir: <https://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp126.pdf>, consultado el 26 de julio 2017.
- Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR). 2010. toxicological profile for carbon monoxide. Recuperado a partir: <https://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp201.pdf>, consultado el 27 de julio 2017.
- Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR). 2016. toxicological profile for hydrogen sulfide and carbonyl sulfide. Recuperado a partir: <https://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp114.pdf>, consultado el 27 julio 2017.
- Atlas agroalimentario 2017. SIAP. 2017. Recuperado a partir: <https://www.gob.mx/siap/prensa/atlas-agroalimentario-2017>. Consultado el 14 de septiembre 2018.
- Attene-Ramos, M. S., Wagner, E. D., Plewa, M. J., Gaskins, H. R. 2006. Evidence that hydrogen sulfide is a genotoxic agent. *Molecular Cancer Research*, 4(1), 9-14.
- Bjarne K. P. 2005. Calidad del aire, 3tres3.com. recuperado a partir: https://www.3tres3.com/los-expertos-opinan/calidad-del-aire_1359/. Consultado el 25 de enero de 2018.
- Blanes-Vidal, V., Hansen, M. N., Pedersen, S., Rom, H. B. 2008. Emissions of ammonia, methane and nitrous oxide from pig houses and slurry: Effects of rooting material, animal activity and ventilation flow. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 124(3-4), 237-244.

- Blaut, M. 2011. Ecology and physiology of the intestinal tract. In *Between Pathogenicity and Commensalism* (pp. 247-272). Springer, Berlin, Heidelberg.
- Bongers, P., Houthuijs, D., Remijn, B., Brouwer, R., Biersteker, K. 1987. Lung function and respiratory symptoms in pig farmers. *Occupational and Environmental Medicine*.
- Burton, D. L., Beauchamp, E. G. 1986. Nitrogen losses from swine housings. *Agricultural Wastes*, 15(1), 59-74.
- Caballero, A., de Neumología, J. D. S. 2006. Inhalación de gases tóxicos. Barcelona: Servicio de Neumología de la Clínica San Pedro Claver.
- Calventus, Y., Carreras, R., Casals, M., Colomer, P., Costa, M., Jaén, A., Monserrat, S., Oliva, A., Quera, M., Roca, X. 2006. Tecnología energética y medio ambiente parte I. Universidad Politécnica de Catalunya, Barcelona. Pp 101-102.
- Canudas, M. R. I. 2008. Tesis doctoral. Estudio del ecosistema bacteriano del tracto digestivo del cerdo mediante técnicas moleculares. Tesis doctoral. Universidad Autónoma de Barcelona, Barcelona, España.
- Cedillo, P. 2008. Impactos económicos, ambientales y sociales generados por una granja porcícola de producción industrial en el valle de Perote Veracruz. Tesis de licenciatura en economía. UNAM. Recuperado a partir: http://132.248.9.195/ptd2008/octubre/0633421/0633421_A1.pdf. Consultado el 5 de noviembre de 2015.
- Centers for disease control and prevention (CDC), 2009. Intoxicación por monóxido de carbono. Recuperado a partir: <http://www.cdc.gov/co>, consultado el 28 de julio 2017.
- Close, W. H. 1987. The influence of the thermal environment on the productivity of pigs. *BSAP Occasional Publication*, 9-24.
- Cummings, J. H., Macfarlane, G. T. 1991. The control and consequences of bacterial fermentation in the human colon. *Journal of Applied Bacteriology*, 70(6), 443-459.

- Cunningham GJ, Klein BG. Fisiología Veterinaria. 3 ed. Barcelona, España: Elsevier, 2003. Pp 222-322
- Cunningham GJ, Klein BG. Fisiología Veterinaria. 4 ed. Barcelona, España: Elsevier, 2009. Pp 300-409.
- Curtis, S. E., Anderson, C. R., Simon, J., Jensen, A. H., Day, D. L., Kelley, K. W. 1975. Effects of aerial ammonia, hydrogen sulfide and swine-house dust on rate of gain and respiratory-tract structure in swine. *Journal of animal science*, 41(3), 735-739.
- Curtis, S. E., Drummond, J. G., Simon, J. 1977. Atmospheric ammonia affects swine health, Air pollution injuries. *Illinois Research*.
- Danilo, J. 1998. Producción porcina, EUNED, San José Costa Rica.
- de Sousa, P., Pedersen, S. 2004. Ammonia emission from fattening pig houses in relation to animal activity and carbon dioxide production. *Agricultural Engineering International: CIGR Journal*.
- Delcourt, M., Vandenheede, M., Desiron, A., Laitat, M., Canart, B., Nicks, B. 2001. Ammonia, nitrous oxide, methane, carbon dioxide and water vapour emissions in a fattening pig house on deep litter: levels of production and correlation with pigs activity. In *Annales de medecine veterinaire*.
- Donham, K. J. 2010. Community and occupational health concerns in pork production: A review. *Journal of animal science*, 88(suppl_13), E102-E111.
- Donham, K. J., Rubino, M., Thedell, T. D., Kammermeyer, J. 1977. Potential health hazards to agricultural workers in swine confinement buildings. *Journal of Occupational and Environmental Medicine*, 19(6), 383-387.
- Drummond, J. G., Curtis, S. E., Meyer, R. C., Simon, J., Norton, H. W. 1981. Effects of atmospheric ammonia on young pigs experimentally infected with *Bordetella bronchiseptica*. *American Journal of Veterinary Research*, 42(6), 963-968.
- Drummond, J. G., Curtis, S. E., Simon, J., Norton, H. W. 1980. Effects of Aerial Ammonia on Growth and Health of Young Pigs 1. *Journal of Animal Science*, 50(6), 1085-1091.

- Environmental Protection Agency (EPA). 2009. Preventing carbon monoxide poisoning. Recuperado a partir: https://www.epa.gov/sites/production/files/201508/documents/pcmp_english_100-f-09-001.pdf, consultado el 28 de julio 2017.
- Environmental Protection Agency (EPA). 2014. Best management practices to Prevent and Control H₂S and Reduced Sulfur Gases at Landfills that Dispose of Gypsum Drywall. Recuperado a partir: <https://www.epa.gov/iris>, consultado el 27 de julio 2017.
- Environmental Protection Agency (EPA). 2016. Toxicological Review of Ammonia Noncancer Inhalation: Executive Summary. Recuperado a partir: <https://www.epa.gov/iris>, consultado el 26 de julio 2017.
- Fernandes, A., Blas, J.C., García, P., 2015. Tesis doctoral, Ammonia and methane gas emissions from pig slurry: variability induced through feeding strategies. Universidad Politécnica, departamento de producción agraria, Madrid, España.
- Fernández, G. 2014. Fundamentos de química orgánica. Recuperado a partir: <http://www.quimicaorganica.net/libro-fundamentos-de-quimica-organica.html> Consultado el 3 de abril de 2017.
- Ganong FW. Fisiología Médica. 14 ed. México, D.F.-Santafé Bogotá: El manual moderno. 1994.
- Goldsmith, J. R. 1970. Contribution of motor vehicle exhaust, industry, and cigarette smoking to community carbon monoxide exposures. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 174(1), 122-134.
- Griffing, E. M., Overcash, M., Westerman, P. 2007. A review of gaseous ammonia emissions from slurry pits in pig production systems. *Biosystems engineering*, 97(3), 295-312.
- Guyton CA, Hall JE. Tratado de Fisiología Médica. 10 ed. México: McGraw Interamericana, 2009.
- Hespell, R. B., Smith, C. J., Hentges, D. J. 1983. Utilization of nitrogen sources by gastrointestinal tract bacteria (pp. 167-187). Academic Press: New York, NY, USA.

- Iglesias, I., Barrales, H., Prenna, G., Williams, S., 2012. Diseño y aplicación del manejo en bandas o flujograma, Lineamientos generales para el pequeño y mediano productor de cerdos. Red Porcina Iberoamericana. La Plata, Argentina.
- Infocarne. Contenidos de información para la integración del sector y la toma de decisiones de sus participantes. 2013. Compendio estadístico de la industria cárnica mexicana. Recuperado a partir: <http://infocarne.comecarne.org/compendio/visualizar?comp=5&componente=128>. Consultado el 5 de noviembre 2015.
- Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). 2017. Consulta histórica de clima para el estado de Querétaro de Arteaga. Recuperado a partir: <http://clima.inifap.gob.mx/Inmysr/Historicos/Datos?Estado=21&Estacion=860149&Anio=2016&Mes=1>. Consultado el 19 de diciembre del 2017.
- Instituto Nacional para el Federalismo y el Desarrollo Municipal (INAFED). 2015. Enciclopedia de los Municipios y Delegaciones de México. Estado de Querétaro de Arteaga. Recuperado a partir: <http://www.inafed.gob.mx/work/enciclopedia/EMM22queretaro/municipios/2014a.html>. Consultado el 20 de noviembre del 2015.
- International Commission of Agricultural and Biosystems Engineering (CIGR). 1984. Climatization of animal houses. Recuperado a partir de: <http://www.cigr.org/documents/CIGR-Workinggroupreport1984.pdf>. Consultado 25 de enero 2018.
- Junqueira LC, Carneiro J. Histología básica. 2 ed. Barcelona, España: Salvat. 1986.
- Katouli, M., Lund, A., Wallgren, P., Kühn, I., Söderlind, Ö., Möllby, R. 1997. Metabolic fingerprinting and fermentative capacity of the intestinal flora of pigs during pre-and post-weaning periods. Journal of applied microbiology, 83(2), 147-154.

- Kim, K. Y., Ko, H. J., Kim, H. T., Kim, Y. S., Roh, Y. M., Lee, C. M., Kim, C. N. 2008. Quantification of ammonia and hydrogen sulfide emitted from pig buildings in Korea. *Journal of environmental management*, 88(2), 195-202.
- KME. 2004. The Act of Odor Prevention. Korea Ministry of Environment.
- Koerkamp, P. G., Metz, J. H. M., Uenk, G. H., Phillips, V. R., Holden, M. R., Sneath, R. W., Schröder, M. 1998. Concentrations and emissions of ammonia in livestock buildings in Northern Europe. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 70(1), 79-95.
- Koob, G. F., Annau, Z., Rubin, R. J., Montgomery, M. R. 1974. Effect of hypoxic hypoxia and carbon monoxide on food intake, water intake, and body weight in two strains of rats. *Life sciences*, 14(8), 1511-1520.
- Le Dividich, J. (1981). Effects of environmental temperature on the growth rates of early-weaned piglets. *Livestock Production Science*, 8(1), 75-86.
- Le Dividich, J., Herpin, P. 1994. Effects of climatic conditions on the performance, metabolism and health status of weaned piglets: a review. *Livestock Production Science*, 38(2), 79-90. *Livestock Production Science*, 79-90. France.
- Macfarlane, G. T., Macfarlane, S. 1997. Human colonic microbiota: ecology, physiology and metabolic potential of intestinal bacteria. *Scandinavian Journal of Gastroenterology*, 32(sup222), 3-9.
- Mackie, R.I., Sghir, A., Gaskins, H.R. 1999. Developmental microbial ecology of the neonatal gastrointestinal tract. *The American Journal of Clinical Nutrition*. *Am J Clin Nutr* 69, 1035S.
- Mathews, Ch., Van Holde, K. Ahern, K. *Bioquímica*. Pearson Addison Wesley. 3 ed. España, 2005.
- McKee, T., McKee J. *Bioquímica*. La base molecular de la vida. McGraw-Hill Interamericana. 2003. 3 ed. España.
- Merlo, N. 2013, Atlas de la carne. México. Recuperado a partir: https://mx.boell.org/sites/default/files/atlas_carne_alta_ok_02_pages.pdf. Consultado el 4 de noviembre de 2015.

- Molina, F. 2013. "El impacto de las enfermedades porcícolas" memorias AMVEC. Ixtapa, Guerrero.
- Montgomery, R., Conway, T., Spector, A., Chappell, D. 1999. Bioquímica casos y texto. Harcourt Brace. 6 ed. España.
- Morris, G. L., Curtis, S. E., Widowski, T. M. 1985. Weanling pigs under sublethal concentrations of atmospheric carbon monoxide. Journal of animal science, 61(5), 1080-1087.
- Muirhead MR, Alexander TJ. Managing pig health and the treatment of disease. 5 Ed. Sheffield, United Kingdom: Enterprises.1997.
- National Institute for Occupational Safety and Health. (NIOSH). 1977. Criteria for a recommended standard: Occupational exposure to hydrogen sulfide. Cincinnati, OH: U.S. Department of Health and Human Services, Public Health Service.
- National Pork Board, 2003. Pork Checkoff, Swine Welfare Assurance Program, a Program of America's Pork Producers. Des Moines.
- Ni, J. Q., Heber, A. J., Diehl, C. A., Lim, T. T., Duggirala, R. K., Haymore, B. L. 2002. Characteristics of hydrogen sulphide concentrations in mechanically ventilated swine buildings. Canadian Biosystems Engineering, 44(6), 11-19.
- Norma oficial mexicana NOM-021-SSA1-1993. Salud ambiental. Criterio para evaluar la calidad del aire ambiente con respecto al monóxido de carbono (Co).
- Occupational safety and health standards. Occupational Safety and Health Administration (OSHA). 2013. Toxic and hazardous substances.
- Organización de las Naciones Unidas para la alimentación y la agricultura (FAOSTAT). 2018. Número de cabezas mundial y por país, Recuperado a partir: <http://www.fao.org/faostat/es/#data/QL>, consultado el 14 de septiembre 2018.
- Owens, F., N., Zinn, R., y Church, D. 1988. Metabolismo de la proteína en los rumiantes. El rumiante: fisiología digestiva y nutrición. Zaragoza: Acribia, 255-282.

- Pérez, R. 2006. Granjas porcinas y medio ambiente, UNAM, Instituto de investigaciones económicas. México, D.F.
- Philippe, F. X., Cabaraux, J. F., Nicks, B. 2011. Ammonia emissions from pig houses: Influencing factors and mitigation techniques. *Agriculture, ecosystems & environment*, 141(3-4), 245-260.
- PIC, 2013. Manual de destete a engorda, PIC Derechos reservados.
- Prescott, J., Harley, K., 2002. Microbiología, MacGraw Hill, quinta edición, Madrid España. Pp 99-145.
- Preziosi, T. J., Lindenberg, R., Levy, D., Christenson, M. 1970. An experimental investigation in animals of the functional and morphologic effects of single and repeated exposures to high and low concentrations of carbon monoxide. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 174(1), 369-384.
- Quiles A. 2006. Necesidades ambientales en las explotaciones porcinas. Ediporc. Facultad de veterinaria de Murcia.
- Renggaman, A., Choi, H. L., Sudiarto, S. I., Alasaarela, L., Nam, O. S. 2015. Development of pig welfare assessment protocol integrating animal-, environment-, and management-based measures. *Journal of animal science and technology*, 57(1), 1.
- Rodarte, F. 2013. Producción porcina alternativa: un enfoque conductual y de bienestar animal. Tesis. Colegio de postgraduados. Texcoco, Edo de México.
- Rodriguez, J., A. Forcada, 2013. El purín porcino: un recurso agronómico o un residuo medio ambiental. *suis* 102: 20-29.
- Roediger, W. E. W., Moore, J., Babidge, W. 1997. Colonic sulfide in pathogenesis and treatment of ulcerative colitis. *Digestive diseases and sciences*, 42(8), 1571-1579.
- Rotger, A. C., Ferret, A. Q. 2004. Fermentación ruminal, degradación proteica y sincronización energía proteína en terneras en cebo intensivo. Tesis doctoral. Universidad Autónoma de Barcelona, Barcelona, España.

- Ruiz Perdomo, J. C., Milán Cárdenas, M. D. C., Murguía Cruz, B. 2010. Folleto sobre seguridad y uso del amoniaco. REDVET. Revista electrónica de Veterinaria, 11(3B).
- Salazar, B. 2005. Manual de porcicultura, Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, Colombia.
- Secretaria de Agricultura, Ganadería, Desarrollo rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA). 2015. Resumen nacional, población ganadera, avícola y apícola 2005-2014. Recuperado a partir: <http://www.siap.gob.mx/opt/poblagand/resumen/resumen.pdf>. Consultado el 16 de septiembre de 2015.
- Secretaria de Agricultura, Ganadería, Desarrollo rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA). 2018. Resumen nacional, población ganadera, avícola y apícola 2005-2014. Recuperado a partir: https://nube.siap.gob.mx/cierre_pecuario/. Consultado el 14 de septiembre de 2018.
- Secretaria de Hacienda y Crédito Público (SHCP). 2014. Panorama del porcino, financiera Nacional de Desarrollo, agropecuario, rural y pesquero. Mayo 2014. Recuperado a partir: <http://www.financierarural.gob.mx/informacionsectorrural/Panoramas/Panorama%20Porcino%20%28may%202014%29.pdf>. Consultado el 16 de septiembre de 2015.
- Stewart, R. D. 1975. The effect of carbon monoxide on humans. Annual review of pharmacology, 15(1), 409-423.
- Stewart, R. D. 1975. The effect of carbon monoxide on humans. Annual review of pharmacology, 15(1), 409-423.
- Stockman-Juvala, H. 2012. 147. Carbon monoxide. Arbets-och miljömedicin, Göteborgs universitet.
- Sun, G., Guo, H., Peterson, J., Predicala, B., Laguë, C. 2008. Diurnal odor, ammonia, hydrogen sulfide, and carbon dioxide emission profiles of confined swine grower/finisher rooms. Journal of the Air & Waste Management Association, 58(11), 1434-1448.

- Swords, W. E., Wu, C. C., Champlin, F. R., Buddington, R. K. 1993. Postnatal changes in selected bacterial groups of the pig colonic microflora. *Neonatology*, 63(3), 191-200.
- The National Academies Press (NAP), 2010. Acute Exposure Guideline Levels for Selected Airborne Chemicals, Volume 9. Recuperado a partir: <http://www.nap.edu/catalog/12978.html> consultado el 27 de julio 2017.
- Villaflor, G., Morales, G. V., Velasco, J. 2008. Significant Variables in the Combustion Process of Natural Gas. *Información tecnológica*, 19(4), 57-62.
- Vince, A., Dawson, M., Park, N., O'Grady, F., 1973. Ammonia production by intestinal bacteria. Department of Bacteriology, St Bartholomew's Hospital, London.
- Wald, N. J., Idle, M., Boreham, J., Bailey, A. 1981. Carbon monoxide in breath in relation to smoking and carboxyhaemoglobin levels. *Thorax*, 36(5), 366-369.
- Windey, K., De Preter, V., Verbeke, K. 2012. Relevance of protein fermentation to gut health. *Molecular nutrition & food research*, 56(1), 184-196.
- Wrong, O. M., Vince, A. 1984. Urea and ammonia metabolism in the human large intestine. *Proceedings of the Nutrition Society*, 43(1), 77-86.
- Yao, C. K., Muir, J. G., Gibson, P. R. 2016. insights into colonic protein fermentation, its modulation and potential health implications. *Alimentary pharmacology & therapeutics*, 43(2), 181-196.
- Zapatero, A. 2013. Problemática estructural y de funcionamiento de la cadena de valor del jamón ibérico de bellota: en el caso de Guijuelo en España". Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, España. Tesis doctoral. Recuperado a partir: http://oa.upm.es/21352/1/ANA_ZAPATERO_GONZALEZ.pdf#page=136. Consultado el 8 de noviembre de 2015.